

첨단 기술 분야별 발전 현황과 전망



KORUSTEC
Korea Russia Science & Technology Cooperation Center

백서

동 백서는 2022년 2월 우크라이나 사태가 발발하기 직전에 러시아 국립고등 경제대학(HSE)의 과학통계 및 지식경제연구소(ISSEK)가 발간한 자료로 러시아 정부가 식별한 16개 첨단기술 분야 중 디지털 경제 전환 및 4차 산업혁명에 핵심적인 10개 기술 군에 대한 현 세계 선진 기술수준과 러시아의 수준을 비교, 검토하여 향후 러시아 기업들이 세계 시장에 진출하기 위해 필요한 사항들을 시사하고 있다.

백서의 배경에는 2019년 기술혁신 관련 러시아 정부 부처가 1차적으로 러시아 주요 국영기업들과 맺은 협정과 이에 입각해 도출한 각 핵심 분야의 기술개발 로드맵을 참조하고 있다.

동 백서는 또 2023년5월에 러시아 정부가 승인한 “2030년까지 러시아 기술개발 개념”에서 제시한 인공지능, 신소재, 양자, 에너지 저장장치, 이동통신 및 우주 분야 등 (중단간) 전략기술에 대한 기술주권 달성의 목표를 이미 암시하고 있다. 또한 공공-민간 파트너십을 통한 연구/혁신/생산 통합체계의 구축으로 러시아가 기술 자립을 달성하고 세계시장에서 경쟁하는 것을 목표로 나타내고 있다.

한-러 과기협력센터는 백서가 처음 발간된 2022년 봄에 국내에 러-한 전문 번역을 의뢰하려고 하였으나 러시아에 대한 서방 경제제재의 여파로 국내 송금 길이 막혀 국내 전문번역원들에게 번역을 맡기지 못하고 러시아 현지에서 러-영 및 영-한 번역을 의뢰하고, 센터가 다시 번역 검수를 마치는 이중, 삼중 작업을 거쳤기 때문에 올 하반기에나 한국어 본을 완성할 수 있었던 것에 대한 양해를 구하는 바이다. 당 센터는 앞서 잠시 언급한 “2030년까지 러시아 기술개발 개념”에 대한 전문 번역 자료도 곧 발간할 예정이다.

러시아 과학기술혁신 분야에 관심 있는 모든 분들에게 좋은 참고 자료가 될 수 있기를 바란다.

첨단 기술 분야별 발전 현황과 전망

백서

2022년, 모스크바

H"@6fcb]hg_nř?" "J]g\bYj_g_nř@" "; c_\VYf[žH"G"N]b]bUžC "J"?cWYh_cj UžG"; "Df]j cfc]hg_UntžD"6"Fi Xb]ž
F"G"H[_\c]bcj žM "J"Hi fcj YhgžJ "J": YXi `cj ž8"J"G\WYfV]b]b

"A "5VU_j a cj žJ" "5j YfVU_\žJ "F"5bd]c[cj ž; "5b]hg]dYfcj ž?"G"6Y`_]bUž5"J"6`cg\Yb_cž
8"5"6c[XUbcj žM "6c[XUbcj žG"5"6c]f]gcj žH"@6fcb]hg_nř5"J"6i fXUbcj ž5" "J Ugl]bž " "J YXnt_\]bž
B"B"J YgY`]hg_Untž?" "J]g\bYj_g_nř5" "Jc`cg\]bžC "J"K c`ZD"9"J cfcV]Yj ž
"M"; U`ni n\]bžH" "; UfYYj ž5"J"; Ugn]_žA "J"; YfUg]a W]i _ž6"A "; `Un_cj ž5"J"; `Y]a ž5"J"; c`i V_]bž5" "
; c]fVUhg]j]Wž@" "; c_\VYf[ž9"D"; f[[c]f]Yj ž5"6"8Y]j ž5" "8Ya Yb]h]Yj ž5"; "8Yb]gcj ž
F"F"8]a i _\Ua YXcj ž5"J"8cXi `UXžJ "B"8cb]Ub]mžD"G"8cfc]n_\]bž?"G"8cfc]Z]Yj žB "J"8cfc]Z]Yj ž
9"J"9[cfc]j žA "5"9fYa Yb_cžJ" "9]a i g_]bžB "G"9]fYa Yb_cj Už5"7\`N]Ub[]fcj žH"G"N]b]bUž=" "ž Ubcj ž: "≡
ž Ubcj žJ "J"ž_cj Už9" "≡]W]Yj žA "A "?b]m]h_]bžA "5"?c`WYb_cž
"A "?ca Ufcj ž8"5"?c]f]Yj ž5"J"?c]žA "B"?c]h]Ya]fžC "J"?cWYh_cj Už; "MU"?fUgl_cj ž
B"G"?i Xf]m]g\cj ž5"B"?i `U[]bžM "J"?i fcW_]bž8"J"@U_c]b]hg]j žH"J"@YXcj g_\]ž8"5"@m]g\Yb_cj žM "B"
A U_Ufcj žJ "G"A U`U_\cj Už5" "A Ua W]i fž8"B"A Yg\WYf]c]j Už5"M"A Yg\WYf]m]g\cj UžJ" "A c`m]g\cj UžC"; "
A i _\Ua UX]Yj Už5" "B Un]f]Yb_cžA "A "B Ugl]Vi `]bž5" "B Ynb]Ubcj ž8"G"B_]h]bž5"J "B]c]bcj ž9" "
DUn\Y]bcj žA "J"DUf]g\]bž5"@D]j_]bžH"8"D]W]i []bž8"J"Dc[c]n\Yj ž5" "Dc]dcj ž
G"; "Df]j cfc]hg_UntžG"M"Dfc_\c]fcj ž5"G"FUg]Y[UYj ž5" "F]nj Ubcj žA "F"Fca Ub]Yb_cžD"6"Fi Xb]ž
A "J"Fi _]bcj ž5" "G]i g_\]bžJ "G"GUž]c]bcj ž8"B"GYj Ugl]Ubcj žJ " "GY]Ynb]Yj žA "G"G_j]fg_nř?"J"Ga]fbcj žJ "G"
Gc`cXcj b]W]Yb_cž9" "Gf]Y]hg]c]j UžD"5"Gi j cfc]j ž?" "HUj U_cj UžF"G"H[_\c]bcj ž5"; "Hfi V]bžM "J"Hi fcj YhgžM "
"I f]W]W]žJ "J": YXi `cj žJ "J"?\Uf]c]j ž5"J"?\c]fi g\]bž
D"; "7\Yf]Yb_cj žJ "G\]b_U]f]j ž8"J"G\WYf]V]b]bžC "5"MU_cj `Yj žC "MU"MU_cj `Yj`

| `B U]h]cbU`FYgYUfW`I b]j Yfg]m]i
<][\Yf]GW]cc`cZ9W]bca]M]j &\$\$&
복제

목차

·)
·	,
·	-
·	%
·	' \$
)	(+
·	* (
·	, \$
·	-)
·	%%\$
·	%&
·	%)
·	%-
·	%(

서론

"&\$% '()*+,-./:;<=>?@ [^\`{|}~" ' % ' ž ž "

% ' ž ž "

		fGVYfVUb_cZFj gg]UZA UbU[Ya Ybh 7ca dUbmcZH.Y'Fi gg]Ub'8]fYVW'bj Ygra Ybh : i bX'>G7E	ž
&)		fFcgH'YVW'a E' fFcgH'WGHU'7cfdcfUj]cbE'	ž
		fFcgH'WGHU'7cfdcfUj]cbE'	ž
(fFcgH'WGHU'7cfdcfUj]cbE' fFcgU]ca 'GHU'7cfdcfUj]cbE'	ž
)	%	fFcgW'ga cg'GHU' 7cfdcfUj]cbE'	
*		fFcgH'WGHU'7cfdcfUj]cbE'	
+		fFcgH'YVW'a E'	ž
		fFcgH'WGHU'7cfdcfUj]cbE'	ž
		로스아톰(Rosatom State Corporation)	러시아 연방 산업무역부
10	송전 및 분산형 스마트 그리드 기술	로세티(ROSSETI)	러시아 연방 에너지부
11	유전 기술 개발 가속화	로스네프트(Rosneft Oil Company)	러시아 연방 교육과학부
12	양자 컴퓨팅	로스아톰(Rosatom State Corporation)	러시아 연방 디지털 개발, 통신 및 대중매체부
13	양자 통신 시스템	러시아 철도(Russian Railways JSC)	러시아 연방 디지털 개발, 통신 및 대중매체부
14	양자 센서	로스텍(Rostec State Corporation)	러시아 연방 산업무역부
15	수소 에너지 및 천연가스를 기반으로 한 산업 및 운송 분야의 탄소 제거 개발	가즈프롬(Gazprom)	러시아 연방 에너지부 러시아 연방 교육과학부 러시아 연방 경제개발부 러시아 연방 산업무역부
16	휴대용을 포함한 전기 저장 시스템 개발 기술 ²	로스아톰(Rosatom State Corporation)	러시아 연방 에너지부 러시아 연방 산업무역부

¹ 동 협정은 2021년 12월 6일자 러시아 연방정부 행정명령 제 3468-r 호에 따라 종료됨.

² 담당 기업은 러시아 연방정부와 선도 기업 사이 협정의향서 체결을 통해 결정됨.

협정은 기술 개발에 있어 계획 및 관리의 핵심 요소 중 하나이다. 이는 러시아 연방정부 부의장 및 관련 연방 당국(러시아 연방 경제개발부, 러시아 연방 디지털 개발, 통신 및 대중매체부, 러시아 연방 산업무역부, 러시아 연방 에너지부, 러시아 연방 교육과학부)의 권한에 의해 이행된다. 전체적인 조정은 러시아 연방정부의 제 1 부총리와 러시아 연방 경제개발부가 수행한다.

협정의 수행 작업 범위 이내에서는 각 분야에 대한 포괄적인 계획과 조치가 구현되며, 유리한 법규제 체제의 수립부터 핵심 기술의 개발, 관련 제품 및 서비스 구현의 가속화, 외국 시장에서의 프로모션에 이르기까지 가장 효과적인 이니셔티브와 첨단 기술 개발 프로젝트를 단일 사이클로 연계된다(로드맵 및 기타 구현 문서: 연방 프로젝트, 러시아 연방 국가 프로그램 등).

국립고등경제연구대학(National Research University Higher School of Economics, HSE)이 러시아 연방 경제개발부, 선도 기업, 관련 부서 및 전문가 단체와 준비한 동 백서에서는 10 가지 첨단 기술 분야를 살펴본다. 이러한 첨단 기술에는 인공지능, 사물 인터넷, 5G(5 세대 모바일 네트워크), 양자 컴퓨팅, 양자 통신 시스템, 분산원장 기술, 송전 및 분산형 스마트 그리드 기술, 휴대용을 포함한 전기 저장 시스템 기술, 신소재 기술, 첨단 우주 시스템이 포함된다. 대부분은 상기 2019 협력의향서의 일차 웨이브에 속해 있다.

고려 중인 모든 첨단 기술 분야는 세계적으로도 활발하게 발전 중이다. 이는 특히 보수적으로 손꼽히는 산업 대부분에서도 꾸준히 증가하는 연구 및 개발에 대한 투자, 논문출판 및 특허

활동의 급격한 성장은 물론, 관련 첨단 기술 제품 및 서비스의 생산 및 유통이 말 그대로 붐을 일으켰다는 것으로 입증할 수 있다. 상기 분야는 전 세계의 기술적 과제를 확실히 명시하고 있으며, 동 기술들의 발전 없이는 디지털 대전환, 4 차 산업혁명 등 포괄적이고도 큰 규모의 경제-사회적 변화를 만들어갈 수 없다.

오늘날 첨단 기술 분야는 긴밀한 상호연계를 통해서만 발전 가능하며, 서로 분리시켜 고려할 수는 없다(예: 인공 지능-5G-사물 인터넷의 상호연계성). 혁신적인 이니셔티브(대학 개발, 스타트업 또는 대기업의 기술개발 과제)는 컨소시엄, 기술제휴, 플랫폼, 클러스터 등 열린 에코시스템 안에서 서로 주고받으며 협력하여 강화시켜 나가야만 충분한 상업적 잠재력을 지닐 수 있음을 전 세계의 실무 사례를 통해 볼 수 있다. 미래에 이런 기술의 융합은 더욱 심화되어 상당한 시너지 효과를 일으킬 것이다. 또한 이러한 융합은 다양한 참가자의 솔루션 간 상호운용성을 보장하는 오픈 아키텍처, 인터페이스 및 표준을 통해 촉진될 것이다.

각 기술, 기술군 및 전체적인 영역 전반에 걸쳐 그 기술 성숙도와 시장 성숙도는 저마다 다르다(양자 컴퓨팅의 경우 개발 초기 단계이지만 사물 인터넷의 경우 이미 다양한 업계에서 널리 사용하고 있음). 이는 각 첨단 기술 분야에 대한 국가 지원 수단의 미세한 조정과 상호연계성에 반영되어야 한다. 한 전문가에 따르면, 지능형 기술의 개발에는 “유연하고 스마트한 관리”가 필요하다고 한다. 기업들이 새로운 기술에 투자할 매력적인 여건을 갖추기 위해서는 법적규제와 첨단 기술 표준이 신속하게 개발되어야 한다.

본 백서는 첨단 기술 분야의 개발에 대한 일련의 연례 분석 보고서로 시작된다. 그간 달성한 결과에 대한 평가와, 세계 및 러시아의 첨단 기술 분야 개발 전망이 포함되어 있으며, 연구 및 개발의 향후 과제, 핵심 솔루션 등을 제시하고 이를 실현시키기 위한 주요 국가 지원 수단을 체계적으로 정리하였다.

본 백서는 선도 기업(스베르방크, 로스텍, 로스아том, 로스텔레콤, 로세티, 러시아 철도, 러시아 연방 우주국)과 연방정부 당국(러시아 연방 디지털 개발, 통신 및 대중매체부, 러시아 연방 경제개발부, 러시아 연방 산업무역부, 러시아 연방 에너지부), HSE, 스콜코보 과학기술연구소, 국립 기술 이니셔티브(NTI) 역량 센터 및 NTI 플랫폼, 러시아 과학 아카데미와 같은 핵심 조직의 자료를 기반으로 작성하였다.

방법론

각 대상 첨단 기술 분야에 대한 백서를 준비하기 위해서는 다음과 같은 연구가 먼저 수행되었다.

첨단 기술 분야의 구조 체계화. 첨단 기술 분야를 분석하기 위해서는 우선 그 경계를 명확하게 정의해야 한다. 이와 관련하여 각 분야에 대한 첫 번째 작업은 관련 기술 및 그 해당 그룹의 구성이 결정되었다. 이를 위해 선도 기업 및 전문기관을 비롯한 유수의 전문가가 참여하는 전문가 간담회를 가졌다. 합의된 각 첨단 기술 분야의 구조는 외국의 관련 기술 실무를 고려하여 개발되었다. 백서의 각 섹션에는 기술 수준의 내포화 구조를 태그 구름과 같은 시각적 방식으로 표현하였다. 큰 글꼴은 기술군을 나타내고, 작은 글꼴은 해당 기술군에 속하는 개별 기술을 나타낸다. 기능 및 응용 분야에서 유사한 기술은 각 구름 안에서 그룹화되어 표시되었다.

각 첨단 기술 분야의 연구 및 혁신 활동 규모를 객관적으로 수량화 하기 위해서는 2021년 8~9월 특허 활동에 대한 계량 서지학적 분석과 측정을 수행하였다.

2010~2020년에 대한 **계량서지학적 분석**은 Scopus 데이터베이스를 기반으로 수행하였다. Scopus에는 다른 데이터베이스보다 첨단 기술 분야에 대한 출판물(러시아 출판물 포함)이 더 많이 색인되어 있다(예: 인공 지능의 경우 Scopus에는 845,400건인 반면 Web Of Science에서는 570,000건임). 특정 첨단 기술 분야 또는 기술 그룹과 관련한 출판물 검색은 데이터베이스에 특수 검색문자열을 사용해 진행하였다. 동 문자열은 전문가들이 제시한 첨단 기술 분야의 구조 및 구성 관련 키워드들이 포함되어 있다.

2010~2019년의 **특허 분석**은¹ PatStat Global 특허 데이터베이스를 활용하여 수행했다. 여기에는 가장 규모가 큰 USPTO, EPO, JPO를 비롯해 전 세계 거의 모든 특허 사무실의 특허 문서 9천만 건 이상이 포함되어 있다. 각 분야별 특허 문서의 검색 및 선정은 전문가들이 각 첨단 기술 분야의 구성에 따라 제시한 키워드 목록을 기준으로 진행하였다. PatStat Global 데이터베이스에 있는 모든 핵심 필드는 원문에서 영어로 번역되기 때문에 동 작업은 영어로만 용어를 사용해서 진행하였다. 또한 전문가와의 협의를 통해 검색 영역을 국제특허분류(IPC) 클래스, 기술 영역(WIPO에서 승인한 기술 매칭 테이블에 의거) 등 추가적인 조건을 사용하여 진행한 경우도 일부 있었다.

기술 성숙도 곡선 구축. 기술 성숙도의 S 곡선은 첨단 기술군의 라이프사이클 단계와 그 광범한 구현에 대한 준비 수준에 따른 차이점을 시각적으로 표현한 것이다. 이러한 곡선상에 특정 기술이 어느 위치에 있는지는 빅데이터의 지능적 분석 결과², 출판물 및 특허 활동 지표, 시장 분석, 전문가 평가를 고려하여 결정된다. 각 기술은 다음 4단계 중 하나에 속한다.

1 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).

2 단계: 기술 발전(특허 및 시장에 대한 분석의 양 증가)

3 단계: 기술 성숙(시장에 대한 분석의 확산).

4 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장에 대한 분석의 변화가 없거나 감소).

본 백서는 러시아 및 세계가 해당 첨단 기술분야에서 이룩한 성과와 그 전망에 대하여 선도 기업, 연방 당국, 전문가 단체는 물론 국제기구, 주요 연구 및 분석 센터, 컨설팅 회사 등 권위 있는 출처에서 제공한 관련 데이터를 토대로 수량적이고 질적인 평가에 대한 결과를 제시한다.

¹ 2020 PatStat Global 데이터는 부분적으로만 제시되었으며 분석에 포함되지 않았음. 이는 대부분의 특허 데이터베이스의 일반적 특징인 정보 업데이트 지연 때문이다.

² 국립고등경제연구대학(HSE) 산하 통계 연구 및 지식 경제 연구소에서 개발한 iFORA 빅데이터 마이닝 시스템 사용.

핵심 용어 정의

가입자 단말기(가입자 장치)	모바일 네트워크에 연결된 사용자(단말) 장비
고분자 복합 재료의 오토클레이브 성형	고온 및 고압을 사용해 고분자 복합재료 제품의 모습을 성형하는 작업
적층 기술	층별로 쌓은 디지털 모델을 통하여 제품을 제조하는 기술의 총칭
아라미드 섬유	분자 내 원자의 특별한 결합으로 훨씬 더 강력한 구조를 지닌 합성 폴리아미드
고분자 복합 재료의 비오토클레이브 성형	중간 수준의 온도 및 압력을 사용해 고분자 복합재료 제품의 모습을 성형하는 작업
블록체인	탈 집중화된 블록체인 기술과 참여자 평등 원칙을 기반으로 하는 P2P 네트워크. 데이터가 단일 서버에 저장되지 않고, 모든 참가자가 동일한 수준의 접근 및 권한을 가짐.
재생 가능한 에너지원(RES)	태양광, 풍력, 물의 흐름, 조수, 지열 에너지 등 재생 가능하거나 실질적으로 고갈되지 않는 자원을 활용하는 재생 가능한 에너지원
탈중앙식 애플리케이션	여러 서버로 구성된 피어투피어(P2P) 네트워크에서 실행되는 분산형 애플리케이션
인버터	직류를 교류로 전환하는 데 사용하는 장치
사물 인터넷(IoT)	데이터를 수집 및 교환하고 모든 유형의 컴퓨터, 스마트폰 또는 인터페이스에서 소프트웨어를 사용하여 인터넷으로 원격 모니터링이 가능하도록 네트워크로 연결된 장치 또는 시스템 세트
인공 지능(AI)	인간의 인지 기능(미리 지정된 알고리즘 없이 자가 학습 및 해결 방법을 도출하는 능력 포함)을 시뮬레이션하고 최소한 인간의 지적 활동 결과와 비교할 수 있도록 특정 작업에 대한 성과 결과를 획득할 수 있게 해주는 일련의 기술 솔루션. 이러한 기술 솔루션에는 정보 및 통신 인프라, 소프트웨어(머신 러닝 방식을 사용하는 소프트웨어 포함), 데이터 처리 및 솔루션 검색을 위한 프로세스와 서비스가 포함됨.
양자 중첩	양자 역학의 기본 원리에 따르면 일부 양자 시스템에서 Ψ_1 및 Ψ_2 상태가 허용되는 경우, $\Psi_3 = s_1 \cdot \Psi_1 + s_2 \cdot \Psi_2$ 형태의 선형 조합 역시 허용되며, 이를 Ψ_1 및 Ψ_2 상태의 중첩이라고 함(상태 중첩의 원리).
양자 소프트웨어	양자 컴퓨팅 장치에서 사용하기 위한 정보 처리 시스템 프로그램 및 소프트웨어 문서 세트
양자 통신(QC)	양자 물리학의 법칙에 기반한 정보 전송 기술로, 근본적으로 새로운 품질의 정보 인프라 보안을 제공함. 이는 디지털 경제 발전에 필수적임.
양자 컴퓨터(계산기)	2 레벨 시스템인 큐비트(다중 레벨 시스템의 경우 큐디트)의 양자 상태에서의 정보 인코딩을 기반으로 하는 양자 컴퓨팅 장치. 바이너리 코드(예: 분석 정보를 "0"과 "1"로 표시)를 기반으로 하는 기존 컴퓨터와는 달리 이러한 기계는 2 레벨 시스템의 양자 상태에 있는 코딩 정보를 기반으로 하기 때문에 "0" 및 "1" 상태 뿐만 아니라, 어떤 중첩으로든 작업이 가능함.
양자 프로세서	양자 시스템 상태에서 정보를 코딩하고 저장하기 위해 설계된 장치로 이러한 상태에 대한 논리적 연산 및 측정을 수행함(추가 장비를 사용함). 특징: 큐비트의 수(논리적 상태 공간의 등가 차원), 1 또는 2 큐비트 연산의 정확도
양자 시뮬레이터	양자 역학 시스템의 근사 시뮬레이션을 위한 장치. 양자 시뮬레이터는 다양한 기술 플랫폼에서 다양한 방식으로 구현할 수 있음.
컴퓨터 비전	대상을 찾고, 추적하고, 분류하는 인공 지능 기술
컨센서스	블록체인 안에 특정 블록을 추가하는 결정, 검증 후에만 가능
희토류 원소 농축물	여러 가지 유용한 요소를 포함한 자연 광물의 혼합물, 광석 농축 프로세스의 결과
큐비트	양자 정보의 기본 단위. 큐비트는 2 레벨 상태에서 인코딩할 수 있음. 물리적 큐비트와

	논리적 큐비트로 분류할 수 있음. 물리적 큐비트의 경우 물리적 플랫폼에서 큐비트의 실제 양자 구현은 일반적으로 양자 결맞음(Coherence) 손실로 인한 손상으로 계산 오류를 발생할 수 있음. 논리적 큐비트는 물리적 매체내에서 양자 정보의 잡음 방지 코딩을 구현하는 알고리즘임.
매그논	상호 작용하는 스핀 시스템의 기본 자극에 상응하는 준 입자
5 세대(5G) 모바일 네트워크	5 세대 무선 통신 기술은 고대역폭(10Gbps 이상), 네트워크 안정성 및 보안, 낮은 데이터 지연 시간(1 밀리초 미만)이 특징으로 빅데이터를 효율적으로 사용할 수 있게 해줌.
양자 컴퓨팅을 위한 클라우드 플랫폼	양자 알고리즘 및 양자 소프트웨어의 원격 시동 및 사용을 위해 설계된 도구 세트
클라우드 서비스	컴퓨터 리소스와 용량이 사용자에게 인터넷 서비스로 제공되는 분산형 데이터 처리 기술
광석 농축	물리적 및/또는 화학적 특성의 차이를 기반으로 광물을 분리하는 일련의 공정
자연어 처리	언어를 탐색하고 글을 작성하며 컴퓨터와 인간 사이 더욱 편리한 상호작용 형식을 구축하는 데 목표를 둔 인공지능 기술
오라클	외부 정보를 블록체인 형식으로 번역하는 인프라 알고리즘
첨단 AI 방식 및 기술	보편적인(강력한) AI 개발을 포함해 근본적으로 새로운 과학적, 기술적 제품을 설계하는 것을 목표로 하는 방식(다양한 문제에 대한 자율 솔루션, 물리적 개체의 자동 디자인, 자동 머신 러닝, 일부 데이터 또는 소량의 데이터를 기반으로 한 문제 해결 알고리즘, 새로운 유형의 컴퓨팅 시스템을 기반으로 한 정보 처리, 해석적 데이터 처리 등의 방식)
고분자 복합 재료	물리적 및/혹은 화학적 특성이 서로 다른 2 개 이상의 성분으로 만들어져 본래 성분과는 다른 특성을 가지는 다 성분 재료
플라리톤	광학 광자, 엑시톤, 플라즈몬, 매그논 등 매체의 기본 자극과 광자의 상호작용으로부터 발생하는 복합 준 입자
프리프레그	반제 복합재료, 경화되지 않은 고분자 결합체가 다량 함유된 직조 또는 부직 구조 시트
프라이빗 분산원장시스템	어떤 멤버가 노드를 관리하고 네트워크 서비스에 액세스할 수 있는지 등 멤버십 기준이 구축된 폐쇄형 네트워크
산업 사물 인터넷	산업 부문에서 사용되며 데이터를 교환하기 위해 네트워크로 연결된 장치와 센서의 집합. 인간의 도움 없이 이러한 장치와 센서 사이 및/또는 외부 환경과 상호작용이 가능함
퍼블릭 분산원장 시스템	개방형 네트워크로, 액세스가 광범위하고 사용자에게 제한되어 있지 않으며 운영자가 특정 참가자에게 할당되지 않고 네트워크 규칙, 구성, 암호 키를 관리하는 중앙 권한이 없음
분리된 희토류 원소	금속 또는 산화물 형태로 불순물이 적은 개별 희토류 원소
음성 인식 및 합성	음성 신호를 텍스트 데이터로, 텍스트를 음성 신호로 변환하는 AI 기술
희토류 원소의 정제	불순물을 제거하여 광석에서 원소를 분리하는 것
무효 전력	부하에 전달되지 않지만 열 및 복사 손실을 초래하는 전력
리액토플라스틱(열가소성 플라스틱) 결합제	경화에 따른 3 차원 구조로 이루어진, 용해되지 않는 불용성 고분자로 변형할 수 있는 합성 고분자
추천 시스템 및 지능형 의사 결정 지원 시스템	특정 대상 및 작업에 등급을 매기는 등 인간의 도움이나 인간의 의사 결정에 의한 개입 없이 수행되는 일련의 AI 기술

재활용(복합 재료)	탄소 플라스틱을 기반으로 한 고분자 복합 재료를 다양한 산업에서 요구되는 새로운 제품으로 재활용하는 것
초전도	저항이 거의 0 인 상태에서 전류를 전도하는 특정 물질의 능력을 나타내는 기본적 물리 현상
무선 액세스 네트워크 (RAN)	가입자 단말기를 이 네트워크에 연결해주는 통신 네트워크 요소
전력 전자 기술	전기 에너지의 변환, 제어, 전환과 관련된 전자 공학 분야
전기 저장 시스템	전기 축적 기능이 있는 현대적인 전력 장치로, 에너지를 소비하고 방출할 수 있음
스마트 인버터	지능형 제어 시스템이 있는 인버터
스마트 계약	구매자와 판매자가 직접 협상하고 이를 프로그래밍 코드로 기록해 신뢰할 수 있는 환경에서 자체 실행되는 계약(블록체인 기술을 사용하여 생성)
유리 섬유	유리 섬유 필러(유리 섬유) 및 결합제로 구성된 복합재료의 한 유형
열가소성 플라스틱 결합제	가열 시 고탄성 또는 점성 유체 상태로 역 전환되고, 냉각 시에는 고체 상태로 돌아오는 고분자 재료
송전 및 분산형 스마트 그리드 기술	전기 저장 시스템, RES, 분산형 발전, 마이크로그리드, 지능형 제어 및 보호 시스템, 전력 전자 기술 및 전기공학은 물론 전선 제작에 신소재(복합재료) 및 물리 원칙(고온 초전도)을 응용하는 등 다양한 첨단 솔루션을 아우르는 분야
토큰	일부 자산의 디지털 대차대조표를 나타내기 위해 고안된 회계 단위
토큰화	디지털 자산을 발급하기 위한 토크 세트
연산 신뢰도	양자 프로세서에서 연산 수행 시(1 또는 2 큐비트) 예상 결과를 얻을 수 있는 평균 확률
트랜잭션	상호작용의 최소 요소, 2명 이상의 사용자 및/또는 정보 시스템 사이 정보 교환
탄소 플라스틱	고분자 수지 뼈대 안에 탄소 섬유 그물 구조로 구성된 복합 다층 재료
탄소 섬유	탄소 원자로 구성되었으며, 인공 또는 천연 유기 섬유를 열처리해 획득한 5~10 마이크로미터 두께의 얇은 섬유로 내구성이 뛰어난 특수 소재
광자	소립자, 전자기 복사 양자
해시	긴 문자열을 원본 데이터의 내용을 보존하는 표준화된 길이의 값(또는 키)으로 변환하는 함수
디지털 플랫폼	단일 정보 환경내에서 특정산업(또는 활동 영역)의 상당수의 개별 참가자가 알고리즘적으로 상호 혜택을 공유하는 체계로 일련의 디지털 데이터 기술과 노동 분업 시스템 변화를 통해 트랜잭션 비용을 절감하게 됨
전자 부품 기반(ECB)	무선 전자 제품, 제로 레벨 전자 모듈, 전기적으로 연결된 무선 전자 제품 세트에 해당하며 기능적으로나 구조적으로나 완벽하게 조립된 장치를 구성하며, 정보 또는 에너지 생성(변형)의 수신, 처리, 변환, 저장, 전송 기능을 구현하도록 설계되어, 지지

	구조를 기반으로 제작되며 구조적 및 기능적 상호 연결성이 있음(2021년 7월 24일 러시아 연방정부 행정명령 제 1252호)
전력 망	전력 기업, 송전 및 배전용 장치, 소비자 전자 발전 장비가 상호 연결된 시스템
대체 불가능 토큰(NFT)	블록체인 시스템에서 개별적으로 정의된 자산에 대한 권한을 갖게 하는 가상 자산의 한 유형
스레드	IoT 제품을 위한 IPv6 기반, 저전력 메시 네트워킹 기술
소규모 머신 러닝(TinyML)	자동화된 작업을 수행하기 위해 센서, 마이크로컨트롤러와 같은 저전력 시스템에 구현할 수 있는 소규모 머신 러닝
웨이트리스	기지국과 주변의 수천 개 컴퓨터 사이에 데이터를 교환하기 위한 일련의 저전력, 개방형 무선 네트워크 사양

인공 지능



약어

RDIF	러시아직접투자기금
DSS	의사 결정 지원 시스템
DPC	데이터 처리 센터
AI ECB	인공 지능의 전자 부품 기반
5G	5 세대 모바일 통신 네트워크
AutoML	자동화된 머신 러닝
GAN	생성적 대립 신경망
GPT-3	세계에서 가장 규모가 큰 생성 언어 모델 중 하나
HPC	고성능 컴퓨팅
오픈 소스	개방 소스 소프트웨어

인공 지능(AI)은 이제 우리 일상의 일부가 되었다. 가상 비서와 상호작용을 하거나, 스트리밍 서비스에서 맞춤형 추천을 받을 때, 검색 엔진 결과가 선호도에 따라 나타날 때 우리는 인공 지능과 만나게 된다. AI 는 대출 신청 승인과 같은 금융 관리부터 의료계까지 다양한 업계에서 사용된다. 기계 학습의 알고리즘으로 주행하던 최초의 무인 자동차를 이제는 도로 곳곳에서 볼 수 있다.

스베르뱅크(Sberbank of Russia), 러시아직접투자자금(RDIF), 러시아 연방정부는 2030 년까지 인공 지능 개발을 위한 국가 전략에 따라 러시아의 인공 지능 첨단 기술 분야 개발에 대한 협력의향서를 체결하였다.¹ 이러한 인공 지능 연방 프로젝트에서 제시하는 것을 비롯한 이 분야의 주요 과제는 'AI 기술 분야에서 의 과학적 역량 구축, AI 분야에서 우수한 전문 인력 양성,

러시아 내 데이터 유통 촉진에 대한 법적 환경 조성 및 규제 장벽 제거, 산업 및 정부 기관에서의 소프트웨어 개발 및 AI 솔루션 구현, AI 기술의 광범위한 대중화'이다.

스베르뱅크는 러시아 내에서 AI 에코시스템의 개발을 책임지고 있으며, AI 프로젝트 및 기업에 대한 투자 유치 기능은 RDIF 가 맡고 있다.

동 보고서의 본 장에서는 AI 기술의 연구 의제 및 개발에 대한 검토를 포함해 전 세계와 러시아에서 지금까지 인공 지능 첨단 기술 분야가 달성한 성과에 대한 평가와 개발 전망을 제시하고, 시장에 현존하는 핵심 AI 솔루션에 대한 소개와 인공 지능 개발에 대한 주요 국가 차원의 지원 조치를 정리하였다.

인공 지능이란?

인공 지능은 인간의 인지 능력(미리 결정된 알고리즘 없이 자율적으로 학습하고 해결 방법을 찾는 능력 포함)을 모방하여 특정 작업을 수행할 때 최소한 인간의 지적 활동에 따른 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있도록 하는 일련의 기술 솔루션이다². 이는 정보 및 통신 인프라와 데이터를 처리하고 해결 방법을 찾는 일련의 소프트웨어 (머신 러닝 기술을 사용하는 소프트웨어 포함) 처리과정 및 서비스를 포함한다.

AI 기술의 핵심군에는 컴퓨터 비전, 자연어 처리, 음성 인식 및 합성, 지능형 의사 결정 지원 시스템, AI 분야의 첨단 기술이 포함된다. AI 분야와 직접적인 연관은 없지만 그 개발 방향에 결정적인 역할을 하는 AI 용 전자 부품 기반도 고려해야 한다.

AI 는 가장 역동적인 과학 분야이다. 2016 년~2020 년 기간동안 Scopus 에 색인된 AI 관련 과학 출판물의 수는 2 배 이상 증가했다 (19,300 건에서 44,700 건으로 증가)(그림 1). 그중 러시아 저자의 점유율은 1.5% 정도지만, 그 비율은 점점 높아지고 있다. 과학 저널 출판물 건수에 따른 국가 순위에서 러시아는 20 위를 기록했으며, 상위 3 개 국가는 중국과 (큰 격차를 두고) 미국 및 인도가 그 뒤를 따른다.

¹ 2019 년 10 월 10 일 러시아 연방 대통령령 제 490 호에 의해 승인.

² 2030 년까지의 인공 지능 개발 국가 전략에 따른 내용.

그림 1. 간행물 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

전 세계적으로 특허 출원 건수 또한 2015~2019 년 사이에 거의 3 배가 증가했다(22,500 건에서 63,700 건으로 증가)(그림 2). 동 기간 러시아 출원자는 매년 100~140 건의 특허를 출원했다. 핵심 조직 일부에서 AI 분야의 지적 활동의 결과 보호에 대한 관심이 급격하게 증가하는 가운데 국내 출원 점유율은 2015 년 0.4%에서 2019 년 0.2%로 약간 감소했다.

특허 수에 따른 국가 순위를 확인해보면, 중국이 큰 차이로 앞서고 있으며(2017~2019 년 출원 수 10 만 3900 건), 그 뒤로는 미국(23,500 건), 일본(12,200 건)이 뒤따른다. 러시아는 15 위이다(출원 수 387 건).

대부분 선진국에서는 정부가 AI 개발을 적극적으로 지원하고 있다. 전 세계적으로 AI 연구개발 의제는 중국과 미국이 주도하고 있으며 출판물, 특허 출원, 등 활동에 대한 재정 지원 규모면에서 절대적인 선두를 차지하고 있다. 2021 년 미국 정부가 동 분야의 연구개발에 투자한 비용은 미화 15 억 달러에 이를 것으로 추산된다. 인공지능에 관한 국가 안보 위원회 (National Security Commission on Artificial Intelligence)는 2026 년까지 AI 연구개발에 대한 예산을 미화 320 억 달러까지 늘릴 것을 권고하고 있다.³

유럽연합 집행위원회(European Commission)는 2021 년~2027 년 기간에 호라이즌 유럽(Horizon Europe) 및 디지털 유럽(Digital Europe) 프로그램의 연구개발비로 연간 10 억 유로를 할당할 예정이다. 또한 개별 EU 국가마다 AI 개발에 대한 국가적 전략을 세워놓고 있다. 예를 들어, 독일은 관련 목표를 달성하기 위해 2025 년까지 50 억 유로를 사용할 예정이다.⁵

최근 전 세계적으로 AI 를 부양하는 정부 정책 및 프로그램 수가 증가했음에도 불구하고 실제 AI 개발을 주로 이끌어온 주체는 미국의 디지털 분야 테크기업이다. 이들의 연간 R&D 지출액은 국가 지원 예산을 초과한다. 이러한 기업으로는 우선 Amazon(미화 427 억 달러, 2020 년 기술 및 콘텐츠 비용에 해당하는 수치), Alphabet(미화 276 억 달러), Microsoft (미화 193 억 달러), Apple(미화 187 억 달러), Facebook(미화 185 억 달러)이 있다 ⁶. 이들 기업의 연구는 주로 소프트웨어, 하드웨어, 서비스 솔루션을 개발하기 위한 AI 및 관련 분야에 집중되어 있다.

³ <https://reports.nscai.gov/final-report/chapter-11/>

⁴ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligencehttps://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/coordinated-plan-artificial-intelligence-2021-review>

⁵ https://knowledge4policy.ec.europa.eu/ai-watch/germany-ai-strategy-report_en

⁶ 2020 년 기업 재무제표에 따름.

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

중국의 경우 AI 개발에 대한 정부의 지출액 추정치는 완전하지 않으며 상당히 큰 폭으로 차이가 나는 경우가 많다. 이에 시장 주도 기업의 연간 데이터를 주요 기준으로 삼는 방법이 있다. 2020년 중국의 3대 주요 디지털 기업의 연구개발 지출 합계액은 약 미화 160억 달러였다. 알리바바(약 미화 67억 달러, 총 제품 개발 지출 비용), 텐센트(약 미화 60억 달러), 바이두(약 미화 30억 달러)였다.⁷

AI 개발은 최신 인프라 없이는 불가능하다. 선진국들의 주요 투자는 데이터 센터에 집중된 컴퓨팅 용량을 구성하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 마이크로일렉트로닉스와 AI 요소 기반에 대한 별도의 투자가 이루어지고 있다.

대부분의 선진국에서는 고성능 컴퓨팅(슈퍼컴퓨터) 개발을 위한 프로젝트와 프로그램을 구현하고 있다. 예를 들어, 유럽연합 집행위원회에서는 2021년~2027년에 고성능 인프라 이니셔티브에 70억 유로를 투자할 계획이다(EuroHPC 공동사업)⁸.

이용 가능한 투자 관련 데이터를 봤을 때, 투자 우선순위는 공동 사용을 포함해 과학계 및 산업계가 이용 가능한 컴퓨팅 역량을 키우는데 역점이 있다고 볼 수 있다. 이렇듯 미국의 클라우드뱅크(CloudBank) 프로그램은 연방 지원금 및 계약을 통한 경쟁원칙에 입각해 클라우드 플랫폼의 사용 할당량을 구매하고 제공하는 것을 목표로 한다⁹. 또한 많은 학생과 연구원에게 컴퓨팅 파워, 고품질 데이터, 교육 도구에 대한 액세스를 지원하는 국가 인공지능 연구 자원(National Artificial Intelligence Research Resource, NAIRR) 프로그램을 구축할 계획이다.¹⁰

이러한 인프라의 구축 수준은 슈퍼컴퓨터의 가용성과 그 파워로 판단할 수 있다. 정기적으로 업데이트되는 상위 500위 슈퍼컴퓨터 순위에는 이를 구축하는 여러 국가 이니셔티브가 포함되어 있다.

⁷ 2020년 기업 재무제표에 따름.

⁸ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/high-performance-computing-joint-undertaking>

⁹ <https://www.cloudbank.org/faq>

¹⁰ <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2021/06/10/the-biden-administration-launches-the-national-artificial-intelligence-research-resource-task-force/>

2021년, 러시아의 슈퍼컴퓨터 중 7대가 동 순위에 포함되었다. Yandex의 슈퍼컴퓨터 3대인 Chervonenkis(가장 강력한 컴퓨터 19위), Galushkin(36위), Lapunov(40위), 스베르방크의 슈퍼컴퓨터 2대인 Christofari Neo(43위)와 Christofari(72위), 모스크바 국립대학교와 MTS가 각각 보유한 슈퍼컴퓨터 Lomonosov-2(241위)와 MTS Grom(294위)이다. 클라우드 서비스의 경우 가장 중요한 예시는 분산형 데이터 인프라 개발을 목표로 한 독일의 프로젝트 GAIA-X이다. 2021년부터 2024년까지의 동 프로젝트에 대한 누적 국가 지원 금액은 약 1억 9000만 유로에 육박할 예정이다.¹¹⁾

위와 같은 전반적인 활동 범위는 수학과 컴퓨터 과학의 기본 토대를 마련하는 것을 가장 주된 목표로 설정하고 있다.

이는 AI뿐만 아니라 모든 디지털 기술을 통틀어 경쟁력 있는 제품과 서비스를 디자인하기 위한 기본 조건이기 때문이다. 규제 틀을 개선하기 위하여 여러 이니셔티브가 구현되고 있다. 데이터 시장을 개발하기 위한 전략(예: 미국과 독일의 경우)은 주로 국가가 축적해둔 데이터 제공에 대한 조직적, 입법적 접근 방식을 개발하는 것과 관련되어 있다.

현재 AI의 개발 주요 방향은 구성 요소 기반 및 컴퓨팅 용량의 개선과 생성적 대립 모델의 신속한 확산, 그리고 기계학습 모델의 자동화 추세를 총괄한다.

최근 몇 년 동안 AI 개발에 있어 중요한 여러 이정표가 달성된 덕분에 이제는 질적으로 새로운 수준의 인간 활동을 자동화하기 위한 AI 솔루션들이 보급되기 시작하였다. 대부분은 하드웨어의 생산성 증가 및 AI 분야의 획기적인 활용성과 연관이 있다. 다음은 그중 일이다.

딥페이크(“딥러닝”과 “페이크”의 혼성어). 2016년~2017년 들어서면서 기본 기능을 기반으로 전체 대상을 재구성(얼굴과 같은 개별 요소를 대체하는 것을 포함)할 수 있게 해주는 생성적 대립 신경망(GAN) 알고리즘의 변형이 데이터 과학 커뮤니티에서 인기를

얻기 시작했다. GAN 기반 솔루션은 정적 이미지를 움직이게 하고, 매우 사실적인 애니메이션을 생성하는 기반을 제공한다. 이러한 방식을 사용해 소위 딥페이크가 출현하게 되었다. 현재 이 기술은 영화계에서 활발하게 사용되고 있다. 이에 대한 역기술인 안티딥페이크(AntiDeepFake) 또한 발전하고 있다. 스베르방크 사이버 보안 연구소는 딥페이크 자동 감지용 AI 기반 기술을 개발했으며 이는 최대 98%의 정확도의 감지율을 보이고 있다.

Open AI의 Dactyl과 보스턴 다이내믹스의 점프 로봇. 2019년 Open AI는 로봇 Dactyl을 훈련시켜 조작 가능한 손 하나로 루빅스 큐브를 조립할 수 있는 능력을 보여 주었다. 이는 순수 합성 데이터를 사용하여 실상 물체와 상호작용할 수 있도록 로봇을 훈련시킬 수 있음을 입증한 사례이다. 또 다른 획기적인 사건은 뛰고 춤을 추는 로봇으로 유명한 보스턴 다이내믹스(Boston Dynamics) 지분의 80%를 현대차그룹에서 인수한 일이다. 현대차그룹은 험난한 지형에서 움직이는 것을 지원하는 개인 보조 장치를 제작할 계획으로, 이는 개인을 위한 로봇 시장의 발전이 새로운 단계에 도달했음을 보여준다.

Alpha Fold 2. 2020년 DeepMind는 생물학자들이 반세기 동안 씨름해온 난제를 자체 알고리즘이 해결했다고 발표했다. 즉, 화학적 구성을 기반으로 단백질의 공간적 구조를 예측함으로써 이를 토대로 생물학적 활동을 예측하는 것이다. 이 알고리즘은 구조가 알려진 단백질 170,000개에 대한 공개 데이터를 활용해 훈련되었다. 개발자들은 이를 위해 약 128TPUv3 코어(100~200 GPU에 상응)를 사용하였다. 이 알고리즘이 도출해낸 결과 중 하나는 이전에는 알려지지 않았던 SARS-CoV-2 바이러스(ORF3a, ORF8 단백질)의 여러 구조를 예측한 것이다.

GPT-3. 2020년 5월 28일, OpenAI의 연구원 그룹은 가장 발전한 자연 언어 처리 알고리즘인 GPT-3을 설명하는 논문을 발표했다.

¹¹⁾ <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2021/03/20210315-gaia-x-entering-its-operational-phase.html>

이 알고리즘은 영어로 작성된 광범위한 작업을 해결할 수 있도록 한다. 현재 GPT-3 의 독점 상용 라이선스는 Microsoft 가 보유하고 있다. 이 알고리즘의 러시아판 버전인 ruGPT-3 은 러시아 스베르방크에서 개발했다.

Open AI 의 DALL-E. 2021 년의 주요 성과 중 하나는 텍스트 설명을 통해 이미지를 생성하는 기술이 생겼다는 것이다. Open AI 에서 개발한 DALL-E 신경망은 관련 없는 특성을 결합한 후 기존 이미지에 적용해 추상적이며 존재하지 않는 대상의 이미지를 고품질로 만들어내었다. 시각화는 GPT-3 알고리즘 기반 신경망을 사용해 생성된다. 이를 활용하면 독특한 이미지를 다양하게 만들어낼 수 있다.

러시아의 경우 스베르방크는 짧은 러시아어 텍스트의 설명을 기반으로 오리지널 이미지를 생성해내는 ruDALL-E 트랜스포머 신경망을 도입했다. ruDALL-E XL(13 억개의 매개변수), RuGPT-3(텍스트를 작성할 수 있는 대규모 러시아어용 AI 모델), ruCLIP(기본, 소규모 및 대규모), RuDOLPH 등 생성 모델은 이미 오픈 소스로 활용 가능하다.

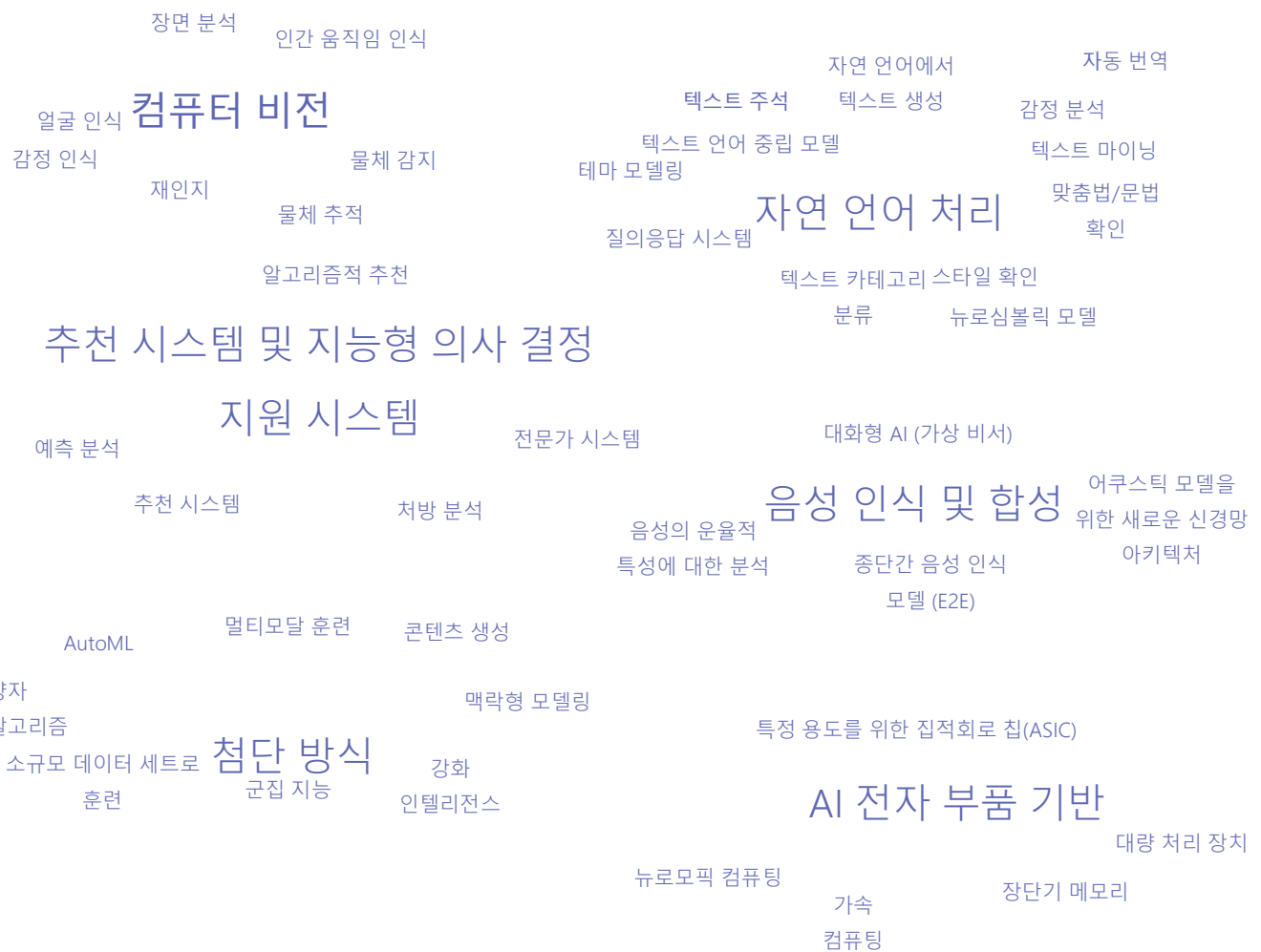
미래에 AI 시스템은 가장 복잡한 과학 문제(예: 기후변화)에 대응할 수 있을 것이다. 하지만 인공 지능이 중요한 문제를 해결할 수 있으려면 의사 결정에 대한 알고리즘의 전체 과정을 인간이 이해할 수 있도록 하는 해석 가능성(설명 가능한 AI)을 제공해야 한다. 그렇게 하면 AI 시스템의 신뢰성, 투명성, 기술 및 소비자 특성을 개선할 수 있을 것이다.

기술

지금도 인공 지능 분야를 구조적으로 접근하는 방식에 대한 논의는 세계적으로 계속 진행되고 있다. 이러한 기술의 가장 일반적인 분류 방법은 그 응용 분야(예: 컴퓨터 비전, 자연 언어 처리, 음성 인식 및 합성, 명령 및 제어 시스템, 의사 결정 지원 시스템)별로 나누는 것이다(그림 3 참조).

응용 분야에서 AI 솔루션의 성공적인 활용은 첨단 방식의 개발을 통해 달성할 수 있다. 한편 첨단 방식과 기본 수학은 컴퓨팅 베이스의 아키텍처에 의존한다. 모든 AI 기술의 물리적 기반은 전자 부품에 대한 기반이다.

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조

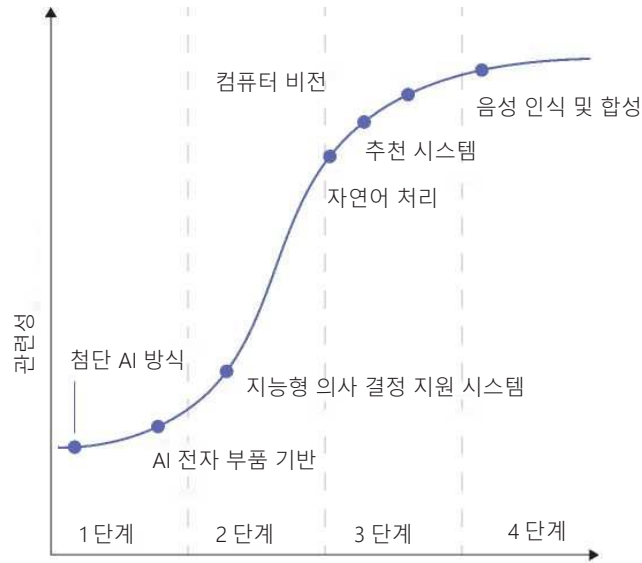


출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

AI 기술은 그 준비 수준에 따라 매우 상이하다. iFORA 빅 데이터 지능형 분석 시스템의 지원으로 구축된 성숙도 곡선은 주요 AI 기술군의 개발 단계를 반영하고 있다(그림 4).

첨단 AI 방식은 가장 획기적이지만 성숙도는 가장 낮다. 변화의 속도가 빠르기 때문에 첨단 AI 방식 분야의 과학 출판물은 이미 6개월에서 2년 사이에 시대에 뒤떨어지는 경우가 많다.

그림 4. 기술 성숙도 곡선



방법론적 설명. 관련성은 기술 성숙도 수준을 특징 지으며, 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)에서 지정된 기간 내의 기술에 대한 표준화된 언급을 반영한다. 연구개발의 집중도에 따른 4 단계는 다음과 같다.

- I 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- II 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- III 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- IV 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

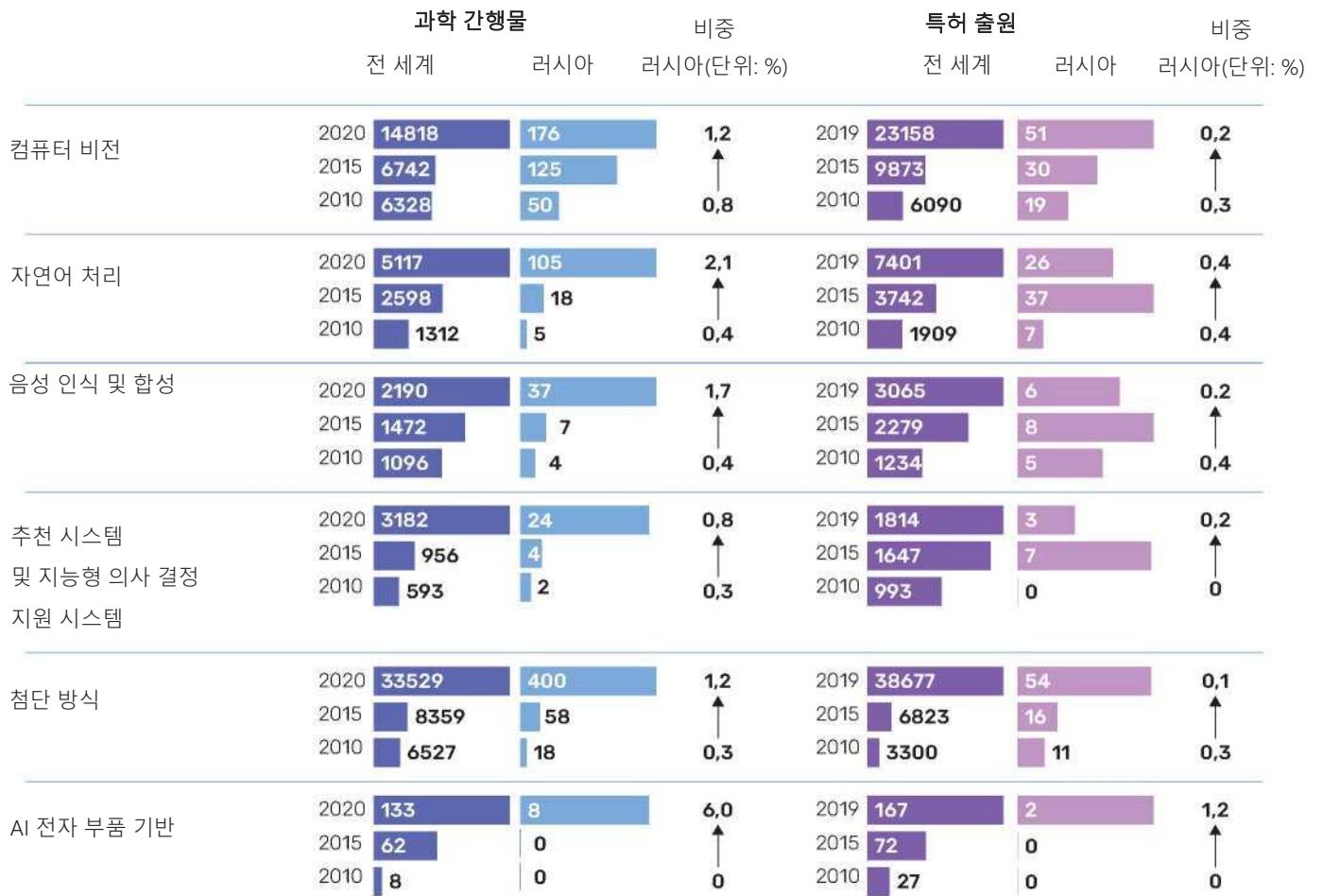
주요 기술군(컴퓨터 비전, 자연 언어 처리, 음성 인식 및 합성 등)에 관한 전 세계 과학 간행물에 대한 러시아 연구진의 기여도는 평균적으로 AI 영역에서 러시아 간행물이 차지하는 비중에 상응한다(그림 5). 또한 자연어 처리 분야의 특허 출원 점유율은 다른 기술군에 비해 2 배 높다.

동 분야 세계의 과학 및 기술 의제의 전 분야에 러시아도 어떤 식으로든 참여하고 있는 것으로 나타나고 있다. 특히 이론적 컴퓨터 과학 분야에서 러시아의 기초 연구는 글로벌 트렌드와 일치한다 (기본 데이터 구조 및 컴퓨팅 복잡성 분석, 논리, 구조 정보 처리의 결정론적 알고리즘, 멀티모달 클러스터링, 자연어 처리 알고리즘, 기능 선택, 이미지 처리 등).

러시아에서 가장 발전한 기술 분야는 다음을 포함한다:

- AI의 수학적 기반이 되는 일부 분야, 특히 이산 수학(형식 개념 분석, 비교전 논리, 멀티모달 클러스터링 등), 통계(통계학적 머신 러닝의 기초 포함) 및 시계열 분석;

그림 5. 기술군 별 간행물 및 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

- 데이터 분석 및 머신 러닝 툴(CatBoost 등)
- 자동화된 텍스트 처리 및 러시아어 코퍼스 방식(DeepPavlov, BigARTM)
- 이미지 인식 방식 및 툴, 특히 글자 인식(전형적 예시로 ABBYY 제품)

러시아 AI 산업 발전의 주요 동인은 높은 수준의 전문가를 양성하는 대학 및 기타 교육 기관(MIPT, HSE, 스콜코보 과학기술연구원, ITMO 대학교, M.V. 모스크바 국립대학교), 전문가의 성장 기반이 되는 선도 연구 센터와 주요 기업(스베르뱅크, Yandex, MTS, VK, 가즈프롬 네프트, ABBYY)이다.

제품 및 시장

IDC 는 글로벌 AI 시장이 2021 년 미화 3,275 억 달러에서 2024 년에는 5,543 억 달러 규모에 이를 것으로 추정하고 있다.¹² 시장의 추정치는 AI 의 보편적 정의, 어떤 제품과 서비스가 AI 분야에 속하는지 결정짓는 통일된 기준, 현재 및 예상 시장 규모를 평가하는 통합적 방법론이 없기 때문에 결과에 큰 차이를 보이고 있다.

AI 분야는 상당히 많은 수의 부문을 포함하고 있다. 일부 제품이나 제품 라인은 보다 좁게 전문화(예: 지능형 의료 진단 서비스)되어 있는 반면, 광범위한 작업에 적용할 수 있는 것도 있다. 대부분의 솔루션은 서로 긴밀하게 연결되어 있으며, 제품은 같아도 다른 기술이나 방식으로 제공될 수 있다.

주요 제품 라인에는 생체인식시스템, 지능형 가상 비서, 추천 시스템, 무인 운송, 예측 유지보수 솔루션, 차량 및 산업 장비 진단 시스템, 지능형 의료 진단 서비스, 의료용 의사 결정 지원 시스템이 포함되어 있다.

대부분의 제품 라인은 소프트웨어, 하드웨어, 서비스 요소를 통합하기 때문에 있으므로 다양한 분야에 응용할 목적으로 관련 제품을 개발할 수 있다. 수평적 제품 라인 부문은 주로 상위 테크 기업들이 우위를 차지하고 있다. 보다 뚜렷한 부문별 특성이 있는 시장(예: 운송)에서는 집중도가 낮은 특징이 관찰되며 시장의 개발에 전문화된 조직(기업, 대학교 등)이 적극적으로 참가하고 있다.

현재 가장 규모가 큰 시장은 생체인식시스템(미화 366 억 달러), 항공(미화 274 억 달러), 다양한 수준의 자율 주행차량(미화 233 억 달러) 순이다(표 1).

2026 년까지 전망할 경우, 가장 규모가 큰 시장은 무인 운송(지상 차량: 미화 649 억 달러, 항공기: 미화 854 억 달러), 생체인식시스템(2025 년까지 미화 686 억 달러), 자연어 처리 클래스의 지능형 가상 비서(2028 년까지 미화 519 억 달러)일 것으로 예상된다.

스타트업(시장에 진출 5 년이 지나지 않은 기업)의 수는 AI 시장의 현황을 잘 나타내는 중요한 지표이다. 이러한 신생 기업이 혁신적인 제품과 새로운 기술을 개발할 수 있는 환경이기 때문이다. 크런치베이스(Crunchbase) 플랫폼에 따르면, 2020 년 주요 활동이 AI 와 관련된 스타트업의 수는 전 세계적으로 9,700 개를 넘었다.

AI 주력 제품과 제품 라인은 사용하기 편하게 미리 준비된 기초 기술인 알고리즘적 "벽돌"을 기반으로 설계된다. 각 '벽돌'은 주요 기능을 구현하는 데 사용되는 하위 수준 기술과 알고리즘 클래스와 방식을 포함한다.

러시아에서 컴퓨터 비전 분야의 역량을 주도하는 곳은 Yandex, VisionLabs, NtechLab 이다. 이중 VisionLabs 는 2019 년 전 세계를 대상으로 한 미국 국립표준기술원(National Institute of Standards and Technology, NIST)의 얼굴 인식 알고리즘 테스트에서 세 번이나 1 위를 차지했다. 정부와 다양한 비즈니스 부문을 위한 일련의 솔루션을 제공하는 NtechLab 의 FindFace 알고리즘은 MegaFace Benchmark(워싱턴대학교)와 인간 감정에 대한 세계 최초의 경연인 Emotional Net Challenge(오하이오 대학교)에서 최고로 선정되었다. 또한 미국 국립표준기술원이 주최하는 세계적 벤치마크인 얼굴 인식 벤더 테스트(Facial Recognition Vendor Test)에서 선두를 차지했다. NtechLab 의 실루엣 및 동작 식별 알고리즘은 WIDER Pedestrian Challenge 와 ActEV-PC 경연에서 상위 3 위 이내에 들었다.

¹² <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS47482321>

표 1. 전 세계 주요 AI 제품 라인별 시장 규모

제품 라인 이름	시장 규모(단위: 10 억 달러)
생체인식시스템 ¹³	36.6
지능형 가상 비서 ¹⁴	5.8
추천 시스템 ¹⁵	2.1
무인 운송:	
무인 지상 차량 ¹⁶	23.3
무인 항공기 ¹⁷	27.4
자율주행 열차 ¹⁸	6.9
예측 유지보수를 비롯한 차량 및 산업 장비 상태 진단 ¹⁹	4.5
지능형 의료 진단 서비스 ²⁰ 및 의료용 의사 결정 지원 시스템 ²¹	1.7

출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소, 공개된 시장 분석 자료를 기반으로 함.

컴퓨터 비전 기술에 입각한 주력 제품 중 러시아가 제작한 세계적인 솔루션을 정리하면 다음과 같다:

- 거의 모든 환경(도시, 국경 및 운송 허브, 기업, 공장)에서 얼굴을 식별하고 확인하며 비디오 감시 카메라를 포함한 다양한 개인적 소스를 통해 운송 수단 유형, 차량 브랜드, 대중교통 차량 유형에 대한 데이터를 수집하는 VisionLabs 솔루션
- 안면 인식을 사용한 비디오 감시를 위해 NtechLab 에서 제공하는 바로 사용 가능한 솔루션 'FindFace Security'
- 러시아 시장에서 화면과 스마트 카메라를 갖춘 최초의 장치인 SberPortal, SberBox Top, 스마트 카메라가 있는 TV 수신기와 미디어 시스템

- Google, Bing, 바이두보다 뛰어난 Yandex 의 이미지 검색 엔진
- AI 기반 의료 서비스의 개발과 사용을 위한 CoBrain-Analytics 플랫폼
- 외래 환자 환경에서의 1차 컴퓨터 단층 촬영 이미지, 외래 환자 및 종합 병원에서 사용하기 위한 의사 결정 지원 시스템, 기타 다른 목적을 위한 AI 서비스. 모스크바 정부에 따르면 이미 AI의 도움으로 모스크바 종합 병원에서 200 만 건 이상의 진단이 수행되었다.

¹³ <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/next-generation-biometric-technologies-market-697.whtml>

¹⁴ <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/intelligent-virtual-assistant-industry>

¹⁵ <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/06/16/2247973/0/en/The-Recommendation-Engine-market-was-valued-at-USD-2-12-billion-in-2020-and-it-is-expected-to-reach-USD-15-13-billion-by-2026-registering-a-CAGR-of-37-46-during-the-period-of-2021-.html>

¹⁶ <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-autonomous-trains-market-report-2021-market-is-expected-to-grow-from-6-95-billion-in-2020-to-7-73-billion-in-2021---long-term-forecast-to-2030--301289945.html>

¹⁷ <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/clinical-decision-support-systems-market-18085342.html>

¹⁸ <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/08/06/2276438/0/en/At-22-7-CAGR-Global-Autonomous-Cars-Market-Share- Revenue-Expected-to-Reach-USD-64-88-Billion-by-2026-FnF-Research.html>

¹⁹ <https://www.businesswire.com/news/home/20211022005161/en/Global-Predictive-Maintenance-Market-Opportunity-Analysis-and-Industry-Forecasts-2021-2030---ResearchAndMarkets.com>

²⁰ <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/artificial-intelligence-medical-diagnostics-market-22519734.html>

²¹ <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/unmanned-aerial-vehicles-uav.asp>

대부분이 퍼블릭 도메인에 속하는 자연어 처리 기술군은 Google, Facebook, DeepMind, Microsoft Research 및 주요 중국 회사에서 개발되고 있다. 자연어 처리, 음성 인식 및 합성 분야에서 러시아의 솔루션은 러시아어일 경우 다른 솔루션보다 우수한 성능을 보이지만 다른 언어일 경우에는 뒤쳐진다. 그렇기 때문에 Yandex Translate 알고리즘은 2020 년 매년 열리는 기계 번역 컨퍼런스(WMT)에서 Google 과 Microsoft 의 알고리즘을 제치고 영어-러시아어 및 러시아어 영어 번역 분야에서 최고의 성과를 보이는 것으로 인정받았다. 이러한 솔루션에 대한 전문 지식은 주로 교육용 데이터와 같은 영역에 집중되어 있다(Yandex, Speech Technology Center, 스베르방크 및 기타 여러 회사).

다음은 러시아에서 제작한 주력 제품이다:

- 일상적인 일을 해결할 수 있도록 도움을 주는 Yandex 의 음성 비서 Alice
- Sber 스마트 기기(SberPortal, SberBox, SberBox Top, SberBox Time, 스마트 홈 플랫폼), Sberbank Online 및 Salute 모바일 애플리케이션 그리고, Salute TV 를 실행하는 텔레비전 등에 내장되어 있는 스베르방크의 가상 비서 Salute Family. 스베르방크는 70,000 명 이상이 등록된 외부 개발자용 SmartMarket 오픈 플랫폼을 개발하기도 했다. SmartMarket 에서는 Salute 비서를 위한 스킬을 생성할 수 있으며, 현재 이러한 스킬은 1,000 개 이상 출시되었다.
- 기업에서 특별한 장비 없이 음성 기술을 이용할 수 있게 해주는 스베르방크의 음성 인식 및 합성용 솔루션 SmartSpeech
- Speech Technology Center Group(스베르방크 에코시스템의 일부)의 음성 인식, 음성 합성, 녹음 및 분석, 얼굴 및 음성 식별 솔루션. NIST, VOicES, CHiME 등의 세계 평가에서 높은 순위를 차지하고 있는 Speech Technology Center 의 음성 위조 감지 및 음성 인식 기술
- 스마트 캡슐 스피커에 내장된 VK(구 Mail.Ru 그룹)의 음성 비서 Marusia.
추천 및 의사 결정 지원 시스템 분야에서는 러시아 제품이 전 세계 개발 수준에 뒤처지지 않고 있다. 러시아에서 제작한 솔루션의 특징은 비즈니스 프로세스와의 긴밀한 통합과 그 불가분성에 있다. 스베르방크(Sberbank of Russia), 안텍스(Yandex), 카스퍼스키(Kaspersky Lab), MTS, 가스프롬 네프트(Gazprom Neft)를 비롯한 다수의 기업이 적절한 전문 지식을 보유하고 있다. 주요 주력 제품은 다음과 같다:
 - 리스크가 적은 대출 승인 프로세스를 자동화하는(기업 고객의 경우 7 분 이내 대출 가능) 스베르방크 시스템

- 안텍스 통합 서비스(Yandex 검색 엔진, Yandex Music, Yandex Food, Yandex Zen 등)에 내장되어 사용자 쿼리와 사용자 웹페이지 방문 기록 데이터를 기반으로 작동하며 맞춤형 제품 및 서비스 추천을 제공하는 Yandex 시스템
- 지질학적 분석 주기를 6 개월에서 14 일로 줄여주는 가스프롬 네프트(Gazprom Neft)의 시스템. "디지털 오일"은 지질 데이터의 디지털 프로세싱을 통해 숨겨진 탄화수소 매장지를 찾을 수 있게 해준다. 특히 확률적 계산을 기반으로 하는 "인지학적 지질학자"의 도움을 통해 매장지의 상세한 디지털 모델을 구축할 수 있다.

첨단 AI 기술 분야에서 러시아 국내 시장은 지금까지 스베르방크와 같은 단일 기업에 의해 발전되었다. 특히 여기에는 컴퓨터 비전 분야의 광범위한 작업을 동시에 처리할 수 있는 능력과 자연어 처리 등이 지원되는 자동화된 머신 러닝(AutoML), FUSION BRAIN 멀티모달 메타 모델을 통한 사용자 데이터의 모델 자동 구축 및 학습을 위한 서비스가 포함된다.

러시아는 전자 부품 기반(ECB)에서는 여전히 뒤쳐져 있다. 이 분야의 선진국들(중국, 미국, 유럽연합)은 소수 글로벌 ECB 제조업체에 대한 의존도를 줄이기 위한 방안을 찾고 있다.

최근 몇 년 동안 기술이 발전하고, AI 활용에 따른 부가적인 기회에 대한 사용자의 인식이 높아짐에 따라 업계에서 AI 솔루션이 구현되는 규모는 점차 증가했다. AI 기반 제품과 서비스의 도입은 다음의 여러 지표의 향상으로 활동의 효율성을 증가시킨다: 속도(프로세스 완결, 의사 결정 등에 소요되는 시간 단축); 품질(제품 및 서비스의 소비자 특성 개선, 고객 경험 개선 등); 객관성(인적 실수로 인한 오류 감소); 비용 효율성(수입의 증가, 비용의 절감); 개인맞춤화(맞춤형 개별 추세 제안) 등. 전통적인 산업분야마다 AI 를 사용할 수 있는 여러 작업이 있다:

- 농업: 수확량 예측, 특정 지역의 정밀 농경(비료 주기, 관개, 기상 예측을 기반한 화학적 식물 보호), 자율 농경기계의 사용(콤바인, 분류기 등)
- 벌목 단지: 위성 이미지 분석을 통한 화재 현장 감지, 삼림 변화에 대한 지능형 모니터링을 활용한 불법 벌목 통제
- 석유 및 가스 산업: 자동화된 현장 탐지, 현장 개발 시 장비 가동 모드의 최적화, 장비의 유지보수 예측; 물류 체인의 최적화
- 금속공학: AI 지원을 통한 최적의 배치 조성 선택, 로봇 응용,

카메라 데이터를 사용한 생산 안전 통제, 완제품의 품질 관리.²²

- 기계공학: 제품 설계 단계의 지능형 모델링 및 프로토타입 생성, 협업 로봇 사용, 장비 예측 수리, 생체인식을 활용한 시설물 접근 통제
- 운송 산업: 무인 및 자동 교통 통제, 드론 배송, 생체인식을 활용한 교통인프라 시설 접근통제
- 건설 및 기반 시설: 드론을 사용한 건설 공정 제어, 건설 현장의 안전 제어, 공용 시설의 예측 수리
- 행정: 컴퓨터 비전을 사용한 종이 문서 처리, 공공 서비스를 이용하려는 시민에게 맞춤형 추천 제공, 챗봇 사용을 비롯해 민원에 대한 구문 분석 및 라우팅 자동화
- 의료: 병리학적 식별을 위한 의료 영상 분석, 질병 예방을 위한 개인별 맞춤 추천 제공, 의료 문서의 자동 보고, 의사를 위한 2차 소견
- 교육: 맞춤형 교육 궤도, 자동 채점, 부정행위 통제 등

²² 배치란 주어진 화학적 구성 및 특성을 지닌 제품을 제공하기 위해 용융로에 적재하는 재료의 혼합물을 뜻함.

국가 지원

영국, 독일, 중국, 미국, 프랑스, 대한민국, 일본을 비롯한 대부분의 선진국에서 전문적이며 포괄적으로 작성한 전략, 프로그램 및 계획 문서에는 AI 산업의 발전이 우선 순위로 명시되어 있다. 주요 전략 문서뿐만 아니라, AI 솔루션을 도입하기 위한 이니셔티브는 다양한 산업 문서 및 주요 국가의 행정 디지털화 전략에도 구성되어 있다.^{23,24,25,26,27,28,29} AI의 발전은 디지털 기술을 기반으로 한 새로운 솔루션 개발 지원(대부분은 지원금의 형태로 이루어짐), 규제 환경 및 기술 표준 개정, 기술 기업을 지원하는 기금 및 개발 기관에 대한 자본 조달 지원, 5G 네트워크 확산을 비롯한 디지털 인프라 개발에 대한 투자, 자연과학 분야 첨단 교육훈련 및 재훈련 프로그램에 대한 자금 지원, 세금 인센티브 및 특혜, 데이터세트에 대한 공개 액세스 제공과 같은 광범위한 수단 및 톨과 깊이 연관되어 있다.

소수의 디지털 플랫폼의 시장 장악과 이를 중심으로 한 최신 기술 개발의 집중으로 많은 국가의 국가 전략은 기술 주권을 확보하고 AI 기술을 위한 자체적인 기반을 마련해야 한다는 내용이 포함되어 있다. 이런 이유로 자체 AI 솔루션에 대한 기초 연구와 그 개선에 대한 전략을 담은 문서가 별도로 있는 경우를 자주 볼 수 있다(예: 미국의 National AI R&D Strategic Plan). 선진국들은 인프라 개발에 상당히 관심을 기울이고 있으며, 오픈 소스 소프트웨어 솔루션의 개발을 장려하고 있다.³⁰ 주요 경쟁 분야는 해당 방식과 기술 그 자체가 아니라, 인적 자원과 지식 이전을 위한 과학교육 시스템을 통해 개별 응용 형태로 기초기술 위에 상부 구조를 구축해 나가는 것이다.

연합 및 컨소시엄의 형태로 이루어지는 국제협력은 AI의 표준화와 AI의 안전성, 윤리성 등 사회적 측면과 AI에 대한 설명 가능성 등 광범위한 주제에 관한 내용을 다룬다(Consortium on the Landscape of AI Safety, Partnership on AI, Global AI Ethics Consortium, AI Alliance Russia 등).

지역 AI 허브(에코시스템)는 단일 도시, 지역 또는 국가 연합 수준에서 조직되고 있다(유럽 연합의 AI4EU, 독일의 Cyber Valley, 중국의 AI Town, 호주의 Queensland AI Hub). 학계 및 기업계 공동의 노력 덕분에 AI 솔루션을 개발하고 구현하는 데에 대한 특히 소규모 기업의 위험은 줄어들고 그 대신 시너지 효과가 증가하였다. 예를 들어 유럽 최대 규모의 AI 연구 클러스터인 독일의 Cyber Valley는 일련의 과학 조직과 세계 유수의 기업을 한데 모아 근본적인 작업이 구체적인 솔루션으로 거듭날 수 있도록 한다.³¹ 한국은 2021년부터 AI 혁신 허브를 보유하고 있는데, 이는 200개 이상의 국내외 회원 조직으로 구성되어 있으며, 대부분은 Google, Meta(구 Facebook)를 비롯한 민간 기업이다. 누적된 역량과 열린 연구 환경에 대한 기여는 세계적 수준의 AI 에코시스템을 만들어 나갈 수 있을 것이다.³²

러시아에서는 AI 분야에 대한 공공정책 기반이 2019년에 마련되었다. 러시아 연방정부는 첨단 인공 지능 분야의 개발을 위해 스페르방크 및 RDIF와 협력의향서를 체결하였다.³³

개발 목표는 '2030 인공 지능 개발을 위한 국가 전략'에 잘 정의되어 있다: 복지 및 삶의 질 향상; 국가 안보 및 법치 보장; 러시아 경제의 지속 가능한 경쟁력 확보; AI 분야에서 세계 선도적인 위치 차지 등이 이러한 목표에 포함되어 있다.³⁴

'2030 AI 개발에 대한 국가 전략'을 구현하기 위해 러시아는 인공 지능 연방 프로젝트를 개발하였으며, 다음 분야에서의 활동이 포함된다:³⁵

- 연구개발 지원
- 스타트업 지원 및 AI 파일럿 기술 추진을 통한 소프트웨어의 설계 및 개발
- AI 분야에 대한 포괄적인 법적 규제 시스템 구축
- 데이터의 가용성 및 그 품질의 향상
- 하드웨어의 가용성 향상

²³ <https://www.gov.uk/government/publications/artificial-intelligence-sector-deal/ai-sector-deal>

²⁴ https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/germany-artificial-intelligence-strategy_en

²⁵ <https://flia.org/wp-content/uploads/2017/07/A-New-Generation-of-Artificial-Intelligence-Development-Plan-1.pdf>

²⁶ <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2019-02-14/pdf/2019-02544.pdf>

²⁷ <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid136649/la-strategie-nationale-de-recherche-en-intelligence-artificielle.html>

²⁸ <https://www.msit.go.kr/>

²⁹ <https://www.nedo.go.jp/content/100865202.pdf>

³⁰ <https://www.ai.gov/strategic-pillars/innovation/#National-AI-Research-and-Development-Strategic-Plan>

³¹ <https://cyber-valley.de/>

- 러시아 AI 기술시장에 역량 있는 인력의 공급과 AI 활용 가능한 분야에 대한 대중의 인지도 제고

이러한 방향은 외국의 전략 문서에 기재된 주요 우선순위와 일치한다. 독일, 영국, 중국, 미국, 대한민국, 일본에서도 이와 비슷한 활동이 진행되고 있다.

러시아 연방정부는 연방 프로젝트를 구현하기 위해 지금까지 8개의 결의안을 채택하였다. 이는 우선순위가 높은 산업에 AI 기술의 승인을 위한 시범 프로젝트를 지원하여 연방 프로젝트의 결과를 구현할 수 있도록 보조금을 제공하는 것; AI 스타트업에 대한 지원 및 가속화, AI 분야 오픈 라이브러리의 개발 지원; AI 분야 연구 센터에 대한 지원; 러시아 일반 국민의 추가 전문성 교육을 위한 어린이 및 학생의 AI 교육 가속화, 인공 지능 연방 프로젝트의 추진을 위한 전문 센터 구축, AI 를 목적으로 한 하드웨어 및 소프트웨어 단지의 개발, 고등 교육 및 교사 교육 프로그램 준비, AI 해커톤 및 일반 강의 개최; 등 추진하는 것을 목표로 한다.

러시아 연방정부 산하 분석 센터는 AI 분야의 연구 센터 6 곳을 선정했다. 동 연구 센터의 활동은 AI 분야에서 고급 연구를 수행하여 AI 를 기반으로 한 새로운 결과와 응용 솔루션을 구축하고, 센터의 산업 파트너가 이러한 솔루션을 구현하도록 하는 것을 목표로 한다.

각 연구 센터에 책정된 예산은 9 억 루블이며 2024 년까지 다음의 연구 센터에 지원된다:

- 스킨코보 과학기술연구원: 탄소 발자국을 줄이기 위한 경영 의사결정의 최적화를 위한 AI
- MIPT: AI 방식을 사용한 자연어 분석(추가 분야: 로봇 및 무인 시스템 제어를 위한 AI)
- HSE 대학교: 산업 전반을 위한 AI 기술 및 경제 및 사회 영역의 우선순위 부문을 위한 AI
- ITMO 대학교: 산업용 AI. 새로운 부류의 문제를 해결하기 위한 강력한 AI 기술 기반 방식 개발
- 이노폴리스 대학교: 산업 전반을 위한 AI 기술 및 경제 및 사회 영역의 우선순위 부문을 위한 AI
- RAS 의 시스템 프로그래밍 연구소: AI 기술을 사용한 신뢰할 수 있는 시스템 개발

³² <https://www.smartcitytoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=21280>

³³ 2019 년 7 월 8 일자 러시아 연방정부 명령 제 1484 호 및 2019 년 9 월 3 일자 제 1964-r 호에 의해 승인

³⁴ 2019 년 10 월 10 일 러시아 연방 대통령령 제 490 호에 의해 승인

³⁵ 인공 지능 연방 프로젝트 설계는 2020 년 8 월 27 일 삶의 질과 비즈니스 환경을 위한 정보 기술 사용과 관련한 디지털 개발 정부 위원회 상임 회의에서 승인되었음.

발전 전망

AI 개발은 컴퓨터 비전, 자연어 처리, 음성 인식 및 합성, 추천 시스템 및 지능형 의사 결정 지원 시스템, 첨단 방식 및 AI 전자 부품 기반과 관련된 분야의 발전으로 결정된다. 강력한 인공 지능의 개발과 관련 과제들은 여전히 유의미하다. 현재 우리는 아직 이 분야의 첫 번째 단계인 멀티모달, 멀티태스킹 단계만을 주로 보고 있는데, 앞으로는 특정 클래스의 작업(예: 텍스트 생성)을 다른 클래스의 작업(예: 이미지 생성)에서 재현시키는 작업 일반화 경향이 점점 증가할 것이다. 향후 몇 년간 아키텍처는 더욱 통합되고, 그 접근 방식이 결합될 전망이다. 이 때문에 관련 학제 간의 연구개발이 특히 중요해지고 있다. 선진국들의 AI 이니셔티브는 연구개발에 대규모로 투자하여 주요 AI 기술군을 위한 자체적인 기반을 다지는 것을 목표로 하고 있다.

향후 2024 년까지 러시아는 인공 지능 연방 프로젝트의 일환으로, AI 개발의 가장 중요한 모든 측면을 다루는 일련의 조치들이 이루어질 예정이다. AI 분야의 연구를 강화하기 위해서는 관련 연구 센터에 대한 지원이 지속될 예정이다. 동 분야 개발을 촉진하기 위해서는 소규모 기업에 대한 지원금이 지급될 전망이다. 새로운 학부 및 석사 학위 교육과정은 AI 분야의 인력 부족을 해결하는 데 도움이 될 것으로 보인다. 또한, 추가 전문 교육과정을 통과한 사람들을 위한 개인 디지털 자격증을 도입하여 AI 분야 전문가의 수를 늘릴 계획이다. AI 제품에 대한 수요 부양책은 산업계의 AI 활용을 위한 시범 프로젝트를 지원하는 데 기여할 것으로 사료된다.

AI 분야를 선도하기 위해서는 인공 지능 연방 프로젝트의 조치 이외에도, 여러 핵심 분야의 활동을 포함하는 것이 권장된다.

과학 및 교육 영역에서는 가장 관련성이 높고 유망한 주제에 대한 연구개발이 이루어져야 하는 것은 물론 수학과와 프로그래밍 등 주요 기술 그룹에서 역량을 갖춘 인력을 양성해야 한다.

2021 년, 스베르뱅크는 러시아에서 과학 연구 활동에 활발하게 종사하는 뛰어난 과학자들을 격려하고자 연례 개최되는 스베르뱅크 과학상(Sberbank Science Award)을 제정하였다. 시상금은 각기 다른 과학 지식 분야를 다루는 3 가지 부문에서 이루어지며 각 부문별 상금은 2,000 만 루블이다. 이 중 한 가지 부문인 디지털 유니버스(Digital Universe)는 AI 를 비롯한 수학 및 컴퓨터 과학 분야에 종사하는 과학자에게 시상한다. 러시아의 자체 기술개발 성장을 장려하는 것은 러시아의 기존 과학적 기술적 기반을 AI 분야로 확장하고, 전 세계적으로 새롭게 부상하는 동 분야의 도전과제에 경쟁적으로 대처할 수 있게 해 줄 것이다.

세계적 수준의 기술과 경쟁력 있는 제품을 개발하기 위해서는 AI 전문가를 위한 매력적인 법제, AI 분야의 프로젝트를 구현하기 위한 고성능 컴퓨팅 인프라 접근성 등 국내 AI 전문가를 위한 편안한 근무 조건을 조성해주어야 한다.

러시아 개발자들은 국내 과학 기관과의 협력으로 이미 세계적 수준의 제품과 서비스를 제조할 능력이 있다. AI 분야 산업의 빠른 성장을 위해서는 소비자 부문의 수요를 자극하는 것이 요구된다. 그러므로 경제사회 부문에 러시아 자체 솔루션을 효과적으로 구현할 수 있도록 촉진하는 적절한 국가 지원책과 세제혜택 등을 제공하는 것이 바람직하다.

AI 구현의 비용을 줄이고 잠재 고객의 범위를 확장하기 위해서는 데이터 시장의 발전과 오픈 소스 소프트웨어의 장려가 타당하다. 이러한 소프트웨어 개발을 위한 경험과 지원을 교환하는 것은 개방형 플랫폼에서 러시아 전문가들의 역량 향상에 기여할 수 있을 것이다.

AI 를 심화 발전을 위해서는 다른 첨단 기술발전과의 공동 조율이 필요하다(예: AI 에는 컴퓨팅 파워와 최신 ECB 가 필요하며, 드론은 5G 기술이 필요함). 이는 동 분야 기술 자립을 달성하게 할 수 있을 뿐만 아니라, 여러 분야의 교차점에서 상당한 시너지 효과를 일으킬 수 것이다.

사물 인터넷



약어

IoT	사물 인터넷
AIoT	사물의 인공지능융합기술
eURLLC	향상된 초고신뢰 저지연 통신
Li-Fi	라이트 피델리티(가시광을 사용한 데이터 전송 기술)
LoRaWAN	장거리 광역 네트워크
LPWAN	저전력 광역 네트워크
LTE-M	장기 진화 기계형 통신
MBAN	의료용 인체 영역 네트워크
MiWi	스타 유선 네트워크에서 피어투피어식 연결을 지원하는 독점 무선 프로토콜
mMTC	전력을 적게 소모하는 연결된 장치를 대량 이용하는 대규모 기계 유형 통신
ML	머신 러닝
NB-IoT	협대역 사물 인터넷
NFC	근거리 무선통신
OPC UA	개방형 플랫폼 통신 통합 아키텍처
Open UNB	개방형 초협대역(초고대역폭 통신 기반의 대용량 네트워크용 무선 전송 프로토콜)
RFID	무선 주파수 인식
TSN	시간 민감성 네트워킹
WBAN	IEEE 802.15.6 에 따른 무선 인체 영역 네트워크
Wi-Fi	IEEE 802.11 표준에 따른 장치의 무선 LAN 기술
무선 HART	HART(Highway Addressable Remote Transducer) 프로토콜이 지원하는 무선 장치를 위한 네트워크 기술
WLAN	무선 로컬 네트워크
WPAN	개인용 무선 네트워크
XNB	확장형 협대역
ZigBee	메시 네트워크 토폴로지를 구축가능하며 낮은 전력을 소모하는 장치 간 무선 통신
Z-Wave	가정용 자동화를 위한 무선 통신 프로토콜

사물 인터넷의 확산은 디지털 경제 발전에 있어서 주된 추세 중 하나이다. 동 분야는 많은 제품과 서비스의 제공자로 높은 기술 준비수준과 시장 성숙도의 특징을 갖는다. 사물 인터넷은 다양한 장치의 상호작용, 데이터의 수집·전송·처리하고 자동화 모드에서 프로세스를 관리하는 일종의 에코시스템이다. AI 및 5세대 모바일 네트워크 분야의 솔루션과 결합된 사물 인터넷은 경제 부문과 사회 영역에서 질적으로 더 높은 기술 발전을 이룰 수 있도록 하며, 이는 생산성 향상, 제품 및 서비스의 품질 및 유연성 향상, 사고 감소 등의 이점으로 이어진다.

러시아 국영기업 로스텍(Rostec State Corporation)은 러시아 연방정부와 러시아의 사물 인터넷 첨단 기술 분야 발전을 위해

협력의향서를 체결한 바 있다. 협력의향서 시행의 일환으로, 호의적인 규제 환경에 기여하고, 상업적으로 성공한 러시아 고유 사물 인터넷의 상호 운영성 보장을 포함하여, 지원 플랫폼, 서비스, 솔루션 등이 등장할 수 있는 기반을 조성하기 위한 로드맵¹이 승인되었다.

본 장에서는 사물 인터넷 첨단 기술 분야에서 전 세계와 러시아가 지금까지 달성한 결과에 대한 평가와 앞으로의 개발 전망을 제시하고, 사물 인터넷 기술의 연구 과제 및 개발에 대한 개요를 제공하며, 현재 시장에 이미 나와 있는 핵심 솔루션을 소개하고, 사물 인터넷 개발에 대한 주요 국가의 지원 조치를 정리하였다.

사물 인터넷이란?

사물 인터넷(IoT)의 개념은 1999년 매사추세츠 공과 대학의 연구팀이 최초로 정립했다. 그 본질은 장치 또는 시스템을 연결해 데이터를 수집 및 교환하고 모든 유형의 컴퓨터, 스마트폰 또는 인터페이스를 통해 소프트웨어를 사용하여 인터넷으로 원격 제어할 수 있게 하는 것이다. 2025년까지 사물 인터넷의 도입은 미화 4~11조 달러에 해당하는 경제적인 이득을 제공할 것으로 예상된다.²

시장 규모의 경우 가장 규모가 큰 IoT 시장은 아시아이며 그 다음은 북미, 유럽 그리고 중동 순이다.

사물 인터넷은 전자통신, 센서, 메카트로닉스, 정보 보안, 분산형 정보 처리 등 다양한 범위의 기술을 다룬다.

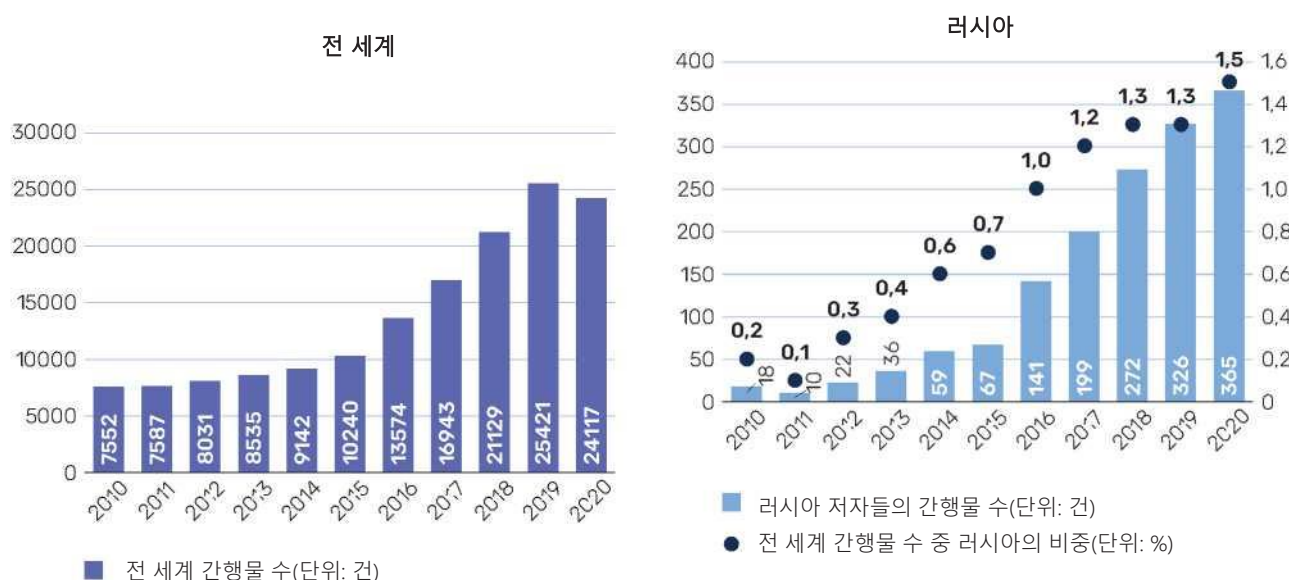
따라서 주요 시장 참가자에는 하드웨어 제조업체, 소프트웨어 개발업체, 사물 인터넷과의 연결하고 정보 보안을 담당하는 업체 그리고 이의 산업 구현을 담당하는 업체들이 포함되어 있다.

최근 몇 년 동안 세계적으로 사물 인터넷의 연구개발에 대한 집중도는 꾸준히 증가하였으며 이는 과학 출판물 수의 증가로 입증된다. 특히 2010년 이후 사물 인터넷 관련 과학 간행물 수는 3배 이상 증가했고, 2016년~2019년까지 폭발적인 성장세를 보였다(그림 1). 2020년 동 분야 러시아의 점유율은 약 1.5%로, 2014년에 비해 2배 증가했다. 출판물 발행 활동 면에서는 중국이 가장 앞서고 있으며, 러시아는 그 1/4 수준으로 겨우 19위에 머물고 있다.

¹ 사물 인터넷 기술 로드맵(Technology Roadmap of Internet of Things)은 2020년 12월 8일, 삶의 질 및 비즈니스 환경 개선을 위한 정보 기술 사용 제 31호에 게재된 디지털 개발 정부 위원회 상임 회의록에 의거 승인됨. 이는 2019년 7월 8일자 러시아 연방정부 행정명령 제 1484-r 호에 따라 사물 인터넷 개발을 위해 러시아 연방정부와 로스텍 사이에 체결된 협정의향서를 이행하기 위한 주요 실천 메커니즘임.

² <https://www.mckinsey.com/featured-insights/internet-of-things/how-we-help-clients>

그림 1. 간행물 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

2017 년~2019 년 발명에 대한 특허 출원 수를 기준으로 보면 러시아는 국가 순위에서 15 위를 차지하고 있다. 2014 년 이후 러시아의 출원 수는 세계 추세에 따라 역시 상승세를 보였지만, 출판 활동의 성장세에 비하면 괄목하지 않음을 유의해야 한다(그림 2). 전 세계적으로 봤을 때 특허의 주요 출원자는 기업이다. 그러나 러시아에서는 대학교와 연구기관이 특허 출원에 더욱 적극적인 모습을 보이고 있다. 일반적으로 출판 및 특허 출원 분야에서 선두를 차지하고 있는 지역은 아시아이고, 그 중 특히 중국이 앞선다.

사물 인터넷의 경우 정부 투자 규모가 가장 큰 국가는 중국과 미국이다. 중국의 경우 IoT 프로젝트를 지원하기 위한 특별 자금만 그 누계가 약 미화 146 억 달러에 달하였다.³ 미국의 경우에는 네트워킹 및 정보 기술 연구개발(Networking and Information Technology Research and Development, NITRD) 이니셔티브의 일환으로 추진되고 있는 네트워크화된 컴퓨팅 지원 물리 시스템(Computing-Enabled Networked Physical Systems, CNPS) 프로그램에 상당한 투자를 하고 있다 (2016 년~ 2021 년 미화 약 1 조 달러)⁴. 독일에서는 Industry 4.0 일환으로 일련의 프로젝트 지원을 실시하고 있다(미화 5 억 달러)⁵.

2020 년 대한민국 정부는 산업 사물 인터넷(IIoT)을 비롯한 산업 자동화 기술 개발에 미화 4 억 1,400 만 달러 이상을 투자했다⁶. 일반적으로 정부 지원을 받는 응용 연구 프로젝트의 구현 비용은 수천만 달러에서 수억 달러에 이르며, 개발-시험-스케일업 등 전주기를 포함한다. 중국은 2025 년까지 세계적으로 경쟁력이 있는 부문교차 플랫폼을 3~5 개 개발하겠다는 목표를 세워 놓고 있다⁷. 미국 국립표준기술원(NIST)은 산업 부문에 초점을 두고 사물 인터넷에 대한 사이버 보안 표준을 개발하고 있다⁸.

세계적인 IoT 선도 기업은 대부분 디지털 플랫폼 개발업체들이다. 여기에는 Microsoft Azure, Amazon AWS, PTC, IBM Watson, Google Cloud, 알리바바 Cloud, SAP, 바이두, Cisco Kinetic⁹ 이 포함된다.

³ https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/SOSI_China's%20internet%20of%20Things.pdf

⁴ <https://www.nitrd.gov/apps/itdashboard/dashboard/>

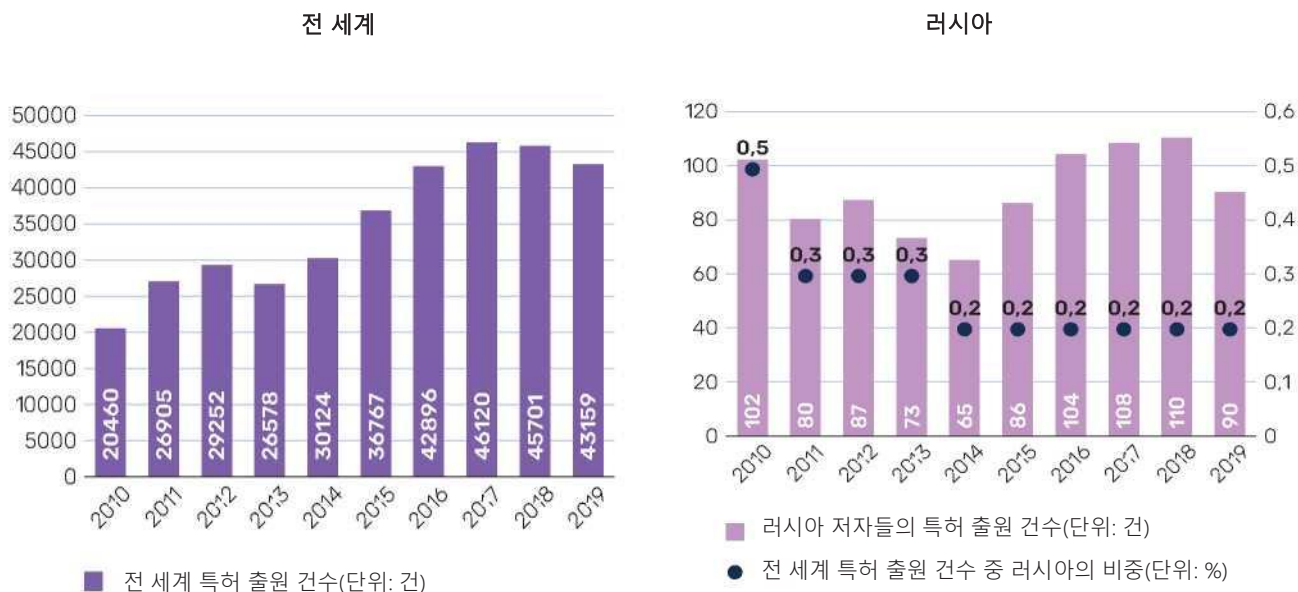
⁵ <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5jlvwzz8td0n-en.pdf?expires=1630032418&id=id&accname=guest&checksum=19149F2771DC8D0D60239E2C6C317F9B>

⁶ <https://www.selectusa.gov/article?id=Korea-Manufacturing-Technology-Smart-Factory>

⁷ <https://merics.org/sites/default/files/2020-06/MERICReportDigitalPlatformEconomyEN02.pdf>

⁸ <https://www.nist.gov/system/files/documents/2020/02/11/9.%20Dowell%202020-Programmatic%20Priority%20Talk%20IoT%20v3.pdf>

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

상기한 기업의 연구개발 예산 중 상당 부분은 사물 인터넷에 사용된다. 이러한 예산은 수억~수십억 달러에 이르는 것으로 추정된다.

IDC 는 사물 인터넷에 대한 전 세계의 총 지출액이 2020 년 7,420 억 달러에 이르며, 2024 년까지 그 지출이 매년 11.3%씩 증가할 것이라 전망하고 있다⁹. 이 중 전체 비용의 3/4 정도가 중국, 미국, 그리고 유럽에서 발생하고 있다. 2025 년에 이르면 세계에는 557 억 개 이상의 IoT 장치가 존재하고, 그중 75%가 IoT 플랫폼에 연결되어 있을 것이라고 예측되고 있다¹⁰. 향후 몇 년간 투자의 상당 부분은 5G 네트워크 배치, 증가하는 데이터 볼륨을 처리하기 위한 컴퓨터의 연산능력 확장, 최종 사용자 장치 수의 증가와 관련될 것이다. IoT 의제에서 에지 컴퓨팅은 필수적인 역할을 한다¹². IDC 는 2020 년에는 해당 시장이 미화 2,506 억 달러 규모가 될 것으로 추정하였다.¹³

사물 인터넷은 높은 기술적 성숙도를 달성한 덕분에 최근 몇 년 동안은 주로 인프라 구축, 경제 및 사회 영역에서 적절한 솔루션 구현, 규정 개발 부문에서 발전해 왔다.

2018 년 이와 관련 가장 중요한 이벤트는 다음과 같다¹⁴.

- 미국은 최초로 IoT 시스템에 대한 사이버 보안 법률을 통과시켰다. 2020 년 1 월 1 일부터 인터넷에 직·간접적으로 연결되는 장치를 제조하는 업체는 해당 장치에 정보의 무단 액세스, 수정, 공개를 방지하기 위한 보안 기능을 사전에 설치해야 한다.
- 산업 자동화 전문기업인 로크웰 오토메이션(Rockwell Automation)사는 사물 인터넷 플랫폼을 위한 소프트웨어 개발을 주도하고 있는 PTC 사에 미화 10 억 달러의 지분을 투자하겠다고 발표했다.
- 전 세계 주요 도시에 최초로 5G 네트워크가 구축되기 시작하였다.

사물 인터넷은 2019 년 이후로 경제 부문에서 더욱 활발하게 확산되고 있다¹⁵.

⁹ <https://www.statista.com/statistics/1132818/iot-platforms-ranking-worldwide/>

¹⁰ <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46609320>

¹¹ <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prAP46737220>

¹² https://ec.europa.eu/newsroom/repository/document/2021-18/European_CloudEdge_Technology_Investment_Roadmap_for_publication_pMdz85DSw6nqPppq8hE9S9RbB8_76223.pdf

¹³ <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46878020>

¹⁴ <https://iot-analytics.com/iot-2018-in-review/>

¹⁵ <https://iot-analytics.com/iot-2019-in-review/>

- 유텔샛(Eutelsat)은 사물 인터넷 시장에 서비스를 제공하기 위해 위성 25 개를 발사할 것이라고 발표하였으며 Amazon AWS 는 서비스가 제공되지 않거나 부족한 지역에 인터넷 액세스를 제공하기 위해 3,236 개의 저궤도 위성 그룹을 발사할 계획이라고 발표하였다.
- 컨테이너(쿠버네티스)로 구동되는 다수의 클라우드 플랫폼(VMware, Cisco, Siemens 등)이 출시되었다. 새로운 아키텍처는 더 높은 수준의 유연성과 성능을 제공하며 중앙 집중식 또는 주변형 IoT 배치에 적합하다.

2020 년 코로나 19 팬데믹은 사물 인터넷의 개발에 더 큰 추진력을 제공하였다.

- 사물 인터넷의 개발에 머신 러닝 알고리즘과의 통합이라는 새로운 단계가 등장했다(사물의 인공지능융합기술, AIoT). 샤오미는 향후 5 년 동안 5G 와 AIoT 에 약 미화 72 억 달러를 투자할 계획이라고 발표했다.¹⁶
- 3GPP 국제 표준 기구는 5G 기술에 대한 두 번째 사양집을 발표했다. 이는 산업용 사물 인터넷에 중요한 시간 민감성 네트워킹(TSN) 지원 뿐만 아니라 향상된 초고신뢰 저지연 통신(eURLLC) 및 포지셔닝 기능을 제공하는 것을 목표로 한다.

지난 몇 년 동안 IoT 장치에 대한 모니터링 및 보안 시스템, 빅 데이터를 처리하기 위한 분석 센터가 등장하기 시작하였다. 한편, 다양한 장치를 관리할 수 있게 해주는 사물 인터넷 플랫폼이 개발되고 있다. 이러한 기술은 원래 산업 및 자동화와 관련된 경우가 많았지만 이제는 에너지, 농업, 무역, 의료, 주택 및 도시 환경 관리, 생태 및 환경 관리 등 거의 모든 경제 및 사회 부문에서 널리 사용되고 있다.

¹⁶ <https://iot-analytics.com/iot-2020-in-review/>

기술

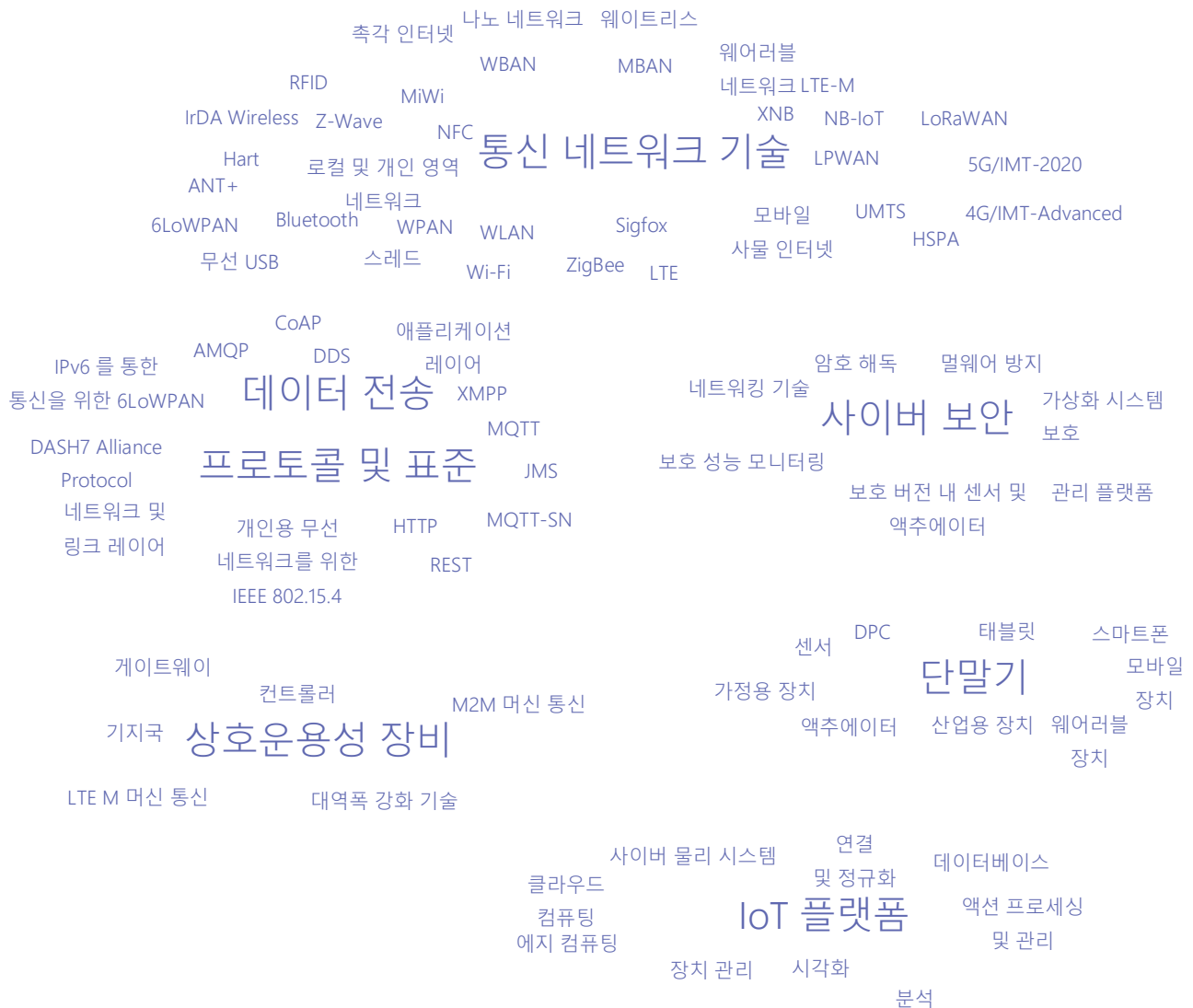
본격적인 IoT 시스템의 핵심에는 여러 기술군이 있다(그림 3). 그 전체 영역은 거대 기업에 의해서만 개발되고 있는데, 시장에는 별도의 틈새 시장을 점유한 개발업체와 통합업체가 다수 있다.

센서를 활용한 일차 정보 수집으로부터 분석이 이루어지는 클라우드 플랫폼에 이르기까지의 과정에는 다양한 통신 채널을 통한 데이터 전송 기술, 네트워킹 및 제어 장비의 상호 작용이 포함된다;

여기서 충분한 수준의 보안은 필수적이다. 각 기술 그룹에는 특정 문제를 해결하는 데 사용되는 여러 기술들이 포함된다. 예를 들어 통신 네트워크를 구축할 때 선택할 수 있는 특정 기술은 토폴로지 및 적용 범위에 따라 달라진다. 이러한 기술은 또 개인용인가 아니면 글로벌 시스템용인가에 따라 상이하다.

IoT 기술의 주요 그룹은 상호 다른 성숙도 수준을 보유하고 있다.

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

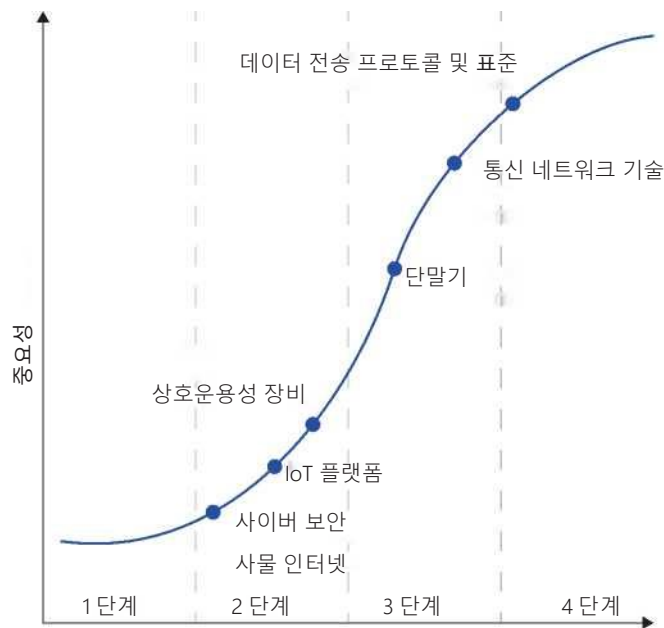
그들의 개발 및 구현 단계는 빅데이터에 대한 지능형 분석 시스템인 iFORA 의 지원으로 작성된 다음의 기술 성숙도 곡선에 표현되어 있다(그림 4).

정보 전송 및 직접적으로 데이터 전송 채널 관련 기술은 꽤 오랫동안 발전해 왔기 때문에 동 분야의 연구 건수와 시장의 성장은 둔화되고 있다. 최근 IoT 장치 수의 증가는 사이버 보안 기술의 발전을 촉진하고 있다. 글로벌 수준에서 보면 엔드포인트 장치, 산업 플랫폼과 솔루션의 발전은 바로 정보 보안 분야에서 가장 활발한 발전을 보이고 있다. 다른 기술군의 경우, 출판물 수는 거의 증가하지 않고 있다.

동 분야의 많은 출판물이 통신 네트워킹 기술을 언급하지만, 최근 이 지표는 크게 바뀌지 않고 있다. 이는 기관들이 새로운 기술의 개발 보다는 그 구현에 보다 적극적으로 참여하는 것에 그 이유가 있을 수 있다. 시스템의 물리요소와 소프트웨어 요소가 상호 연관될 수 있도록 보장하는 IoT 플랫폼과 장치의 개발은 개발의 두 번째 단계에 있으며, 이는 특허 활동의 증가율에서 볼 수 있다.

동 분야 출판물 및 특허 분석 결과를 보면 러시아의 개발 기여도는 아직 미미하지만, 특히 과학 출판활동 및 출판물 면에서 다양한 기술군의 글로벌 트렌드와 일치한다는 점은 주목할 만한 부분이다(그림 5).

그림 4. 기술 성숙도 곡선



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

방법론. 중요성은 기술 성숙도 수준으로 표현되며, 지정된 기간내 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)이 기술에 대해 정규화된 언급 횟수를 반영한다. 연구개발의 집중도를 고려한 4 개 단계 구분은 다음과 같다.

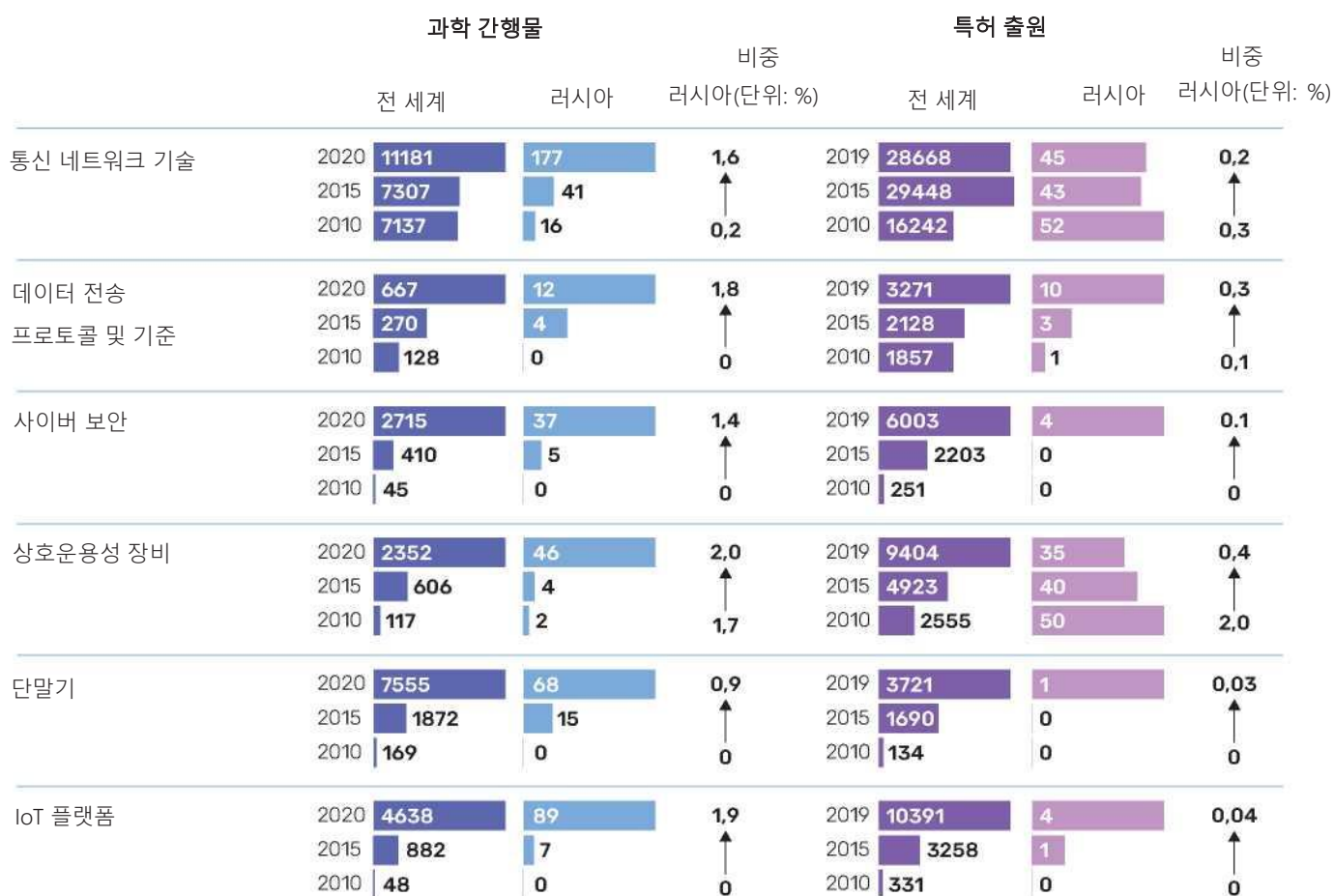
- I 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- II 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- III 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- IV 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

2030년까지 사물 인터넷 및 관련 분야에서 유망한 기술은 통신 시스템 구축(5G mmWave, 광통신망, LPWA, Li-Fi), 사이버 보안 기술(새로운 암호화 알고리즘 포함), 에너지 절감 기술(알고리즘 및 새로운 전자 기반), 그리고 사물 인터넷 장치의 데이터와 관련한 AI(AIoT 및 TinyML) 등이다. 먼 미래에는 위성 인터넷, 더 장기적으로 봤을 때는 감각의 인터넷까지 개발될 것으로 보인다.

현재 사물 인터넷의 개발에 있어 가장 중요한 부분은 통신 채널과 반도체 제조기술이다. 동 분야 러시아의 과학 수준은 보유 기술 기반의 취약성으로 제한을 받고 있다.

동 분야 러시아의 연구개발 초점은 주로 특정 IoT 장치의 하드웨어 및 소프트웨어 구성 요소 제작에 맞춰져 있는 반면, 선진국은 주로 통신 기술에 중점을 두고 있다. 러시아에서 IoT 네트워크 및 운영 프로토콜의 구축을 위한 솔루션 개발은 국내 시장의 규모가 작은 탓에 지연되고 있다. 러시아 연구원들이 만든 보안 및 암호화 알고리즘은 글로벌 시장에서 경쟁력을 갖추고 있다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

러 국내 기관의 개발품들은 주택 및 공동 시설 서비스의 센서나 장치를 통한 데이터 수집으로부터 일반 환경 모니터링(물과 대기 상태)에 이르기까지 매우 특수한 작업과 구체적인 임무를 달성하기 위해 개발되었다는 특징을 가지고 있다.

글로벌 시장은 이미 해외 부품 기반을 활용한 솔루션 공급체를 형성한 상태이다. 따라서 실제 기술과제는 장치로부터 정보 처리 플랫폼으로의 데이터 수집을 보장하는 것이다. 러시아 전문가들은 이 문제를 해결하는 데 참여함으로써 해외 시장에서 러시아의 입지를 확장할 기회를 열어 줄 수 있을 것이다.

제품 및 시장

IoT 시장은 산업 플랫폼, 하드웨어 및 소프트웨어 데이터 전송 시스템, 그리고 다양한 산업용 장치 및 애플리케이션이라는 세 가지 주요 제품 라인으로 형성되어 있다.

첫 번째 그룹은 특정 응용 분야를 위해 다양한 기술을 통합하는 플랫폼을 포함한다. 그중 현재 가장 규모가 큰 시장은 산업용 인터넷으로, 단기적으로는 선두를 유지할 것으로 예상된다. 2020년에는 시장 규모가 미화 2160억 달러에 달했으며, 2028년에는 그보다 5배 이상이 증가한 최대 미화 1조 1100억 달러에 이를 것으로 예측된다.¹⁷ IBM, Amazon, Microsoft, Cisco, Oracle, Salesforce.com, SAP, PTC 등과 같이 이미 글로벌 에코시스템을 구축해 온 거대 디지털 기업들은 동 산업 플랫폼 시장을 이끌어가고 있다.¹⁸ 이중 절대 우위를 차지하고 있는 기업은 2010년부터 클라우드 플랫폼에 미화 400억 달러를 투자한 Amazon이다. 이들의 핵심 제품은 IoT, ThingWorx, Microsoft Azure IoT, Google Cloud, IBM Watson, Cisco Kinetic 등이다.

하드웨어 및 소프트웨어 데이터 전송시스템 라인업에는 Infineon Technologies, Texas Instruments, Analog Devices, Qualcomm, STMicroelectronics 같은 회사가 포함된다¹⁹. 이들 대부분은 트랜시버 및 관련 장치의 개발에 종사하고 있다. 이 중 선도업체의 연구개발 예산은 미화 10억 달러를 초과한다. 현재 트랜시버 시장의 규모는 2024년까지 미화 185억 달러에 이를 것이며, 매년 10% 이상 성장할 것으로 예측된다.²⁰ 지금 시장에서 판매되고 있는 제품으로는 SX1211084TRT(Semtech), BGT24MTR12(Infineon), MAX2829ETN +(MaximIntegrated), ADUCRF101, ADF7030-1(AnalogDevices), XMM 6255(Intel) 등이 있다. 동 라인업에는 다이내믹 IoT 센서 시장도 포함되어 있는데, 2026년까지 미화 296억 달러의 가치가 있을 것으로 예상된다.²¹

산업용 장치 및 애플리케이션 시장에는 다양한 솔루션이 이미 존재한다. 동 시장의 선도업체로는 Dell, Advantech, Apple, Aeris Communication, HTC 등이 있으며²² 제품으로는 Intel Galileo,

Raspberry Pi, OpenMote, ATrack 트래커, 그리고 CargoSense 등이 있다.

IoT 시장을 선도하는 국가는 중국과 미국이다²³. 러시아에서 개발한 플랫폼 솔루션이 해외 유사 솔루션보다 훨씬 뛰어난 경우도 다수 있다. 러시아에서는 현재 150개 이상의 조직이 신뢰성 있는 디지털 IoT 기술 공급업체로 분류되고 있다²⁴. 동 수치는 로스텍(Rostec State Corporation)을 제외한 기관들의 수이다. MTS, VimpelCom, MegaFon, 로스텔레콤과 등 러시아의 대표 통신 기업들은 B2C, B2B, 하드웨어 기반 IoT 시스템, 산업별 솔루션 등 부문에서 국내 솔루션을 구현하는 선구자이다. 현재 상당수의 기술 개발자와 IoT 솔루션 통합 전문가들은 각종 전문 협회 및 컨소시엄에서 함께하며 에코시스템 개발의 새로운 단계에 필요한 기반을 구축하고 있다.

IoT 데이터 전송을 위한 하드웨어와 소프트웨어 시스템(특히 산업용)으로는 MTS(MTS IoT HUB), MegaFon(IOT-M2M), Beeline(비 IP 데이터 송신), Mail. Ru(IoT 플랫폼) 등이 개발한 것은 물론 데이터 전송 솔루션인 LoRaWAN NOVOUCHET, SBT, Rostelecom, Neomatica, Net 868, Thingenix 등이 포함되어 있다. Waviot 과 GoodWan 은 데이터 전송 프로토콜을 사용해 러시아 고유의 하드웨어를 생산한다. 다양한 산업 분야의 장치 및 애플리케이션의 경우, 우선 농업 및 철도 운송을 위한 Cognitive Pilot 장치, Borlas, Rubetek, iRZ Monitoring, Net 868, Owen, ICB Com, Thingenix 및 기타 솔루션들이 있다.

상호 데이터 전송을 보장하는 장비 및 단말 장치 개발 능력면에서 러시아는 세계 수준에 뒤떨어지는 것은 아니지만 주요 하드웨어 솔루션(마이크로컨트롤러, 메모리 장치 구성 요소 등)은 해외의 구성 부품을 기반으로 제작되므로 결국 러시아내 제품 개선 및 세계 시장으로의 확장 가능성은 이러한 구성 부품 기반의 가용성, 그 수요 그리고 궁극적으로 그 비용에 달려 있다. 러시아 국내 시장에서 사물 인터넷과 관련하여 러시아 솔루션이 외국 솔루션보다

¹⁷ <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/industrial-internet-of-things-iiot-market>

¹⁸ <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-cloud-platform-market-195182.html#:~:text=The%20IoT%20cloud%20platform%20market%20is%20expected%20to%20grow%20from,USD%2011.5%20billion%20by%202025.&text=Trends%20that%20are%20driving%20the,Need%20to%20increase%20operational%20efficiency>

¹⁹ <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-5g-rf-transceiver-market-to-witness-a-cagr-of-30-4-between-2020-and-2030--301098826.html>

²⁰ <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2019/05/30/1856804/0/en/RF-Transceiver-Market-to-Reach-18-5-Billion-By-2024-Registering-a-CAGR-of-11-6-P-S-Intelligence.html>

²¹ <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/sensors-iiot.asp>

²² <https://www.marketresearchfuture.com/reports/connected-iiot-devices-market-4776>

²⁴ <https://iiot.ru/catalog/>

더 나은 부분은 보다 기능적인 소프트웨어이다 - 그 이유는 데이터 처리를 위한 보다 효율적인 알고리즘, 데이터 저장 및 모니터링을 위한 솔루션 등을 갖추고 있을 뿐만 아니라 신속한 사용자 지원과 러시아어 지원이 되기 때문이다. 하지만 해외 시장에서는 이러한 이점들이 모두 상쇄된다.

IoT 플랫폼 분야의 국내 솔루션의 대다수는 현재 시제품 단계에 있으며, 검사를 거치는 중이다. 이러한 개발의 성공적인 예시로는 Zyfra Industrial IoT Platform 이 있다. 산업 플랫폼 및 산업 소프트웨어 시장의 상황도 유사하다. 사물 인터넷 분야에 속하는 러시아 기업의 대부분은 해외 솔루션 통합에 종사하고 있다. MTS NB-IoT Development Kit 처럼 자체 하드웨어 플랫폼을 개발하는 통신 사업자는 예외이다.

대부분의 새로운 산업용 디지털 플랫폼은 오픈 소스 코드를 사용해 실행되고 있는데, 러시아도 마찬가지이다. Yandex, VK(Mail.ru), PostgresPro 는 국제 오픈 소스 프로젝트에 기여하고 있지만, 동 분야 러시아 국내 기업의 영향력은 여전히 적은 수준이다. 세계 유수의 하드웨어 부품 및 인프라 개발자가 러시아의 제안을 실행해 준다면 이러한 상황에 변화가 생길 수도 있지만, 국제 플랫폼에서의 적극적인 활동 없이는 단기적으로 불가능한 일이다(제재 등 요인 고려). 한편, 로스텍이 생산시스템을 모니터링하기 위해 개발한 시스템을 포함하여, 산업 사물 인터넷 분야에서 러시아 국내시장용 러시아 플랫폼 솔루션의 개발은 유망하다.²⁵ .

²⁵ <https://rostec.ru/news/razrabotka-rostekha-obespechit-rost-effektivnosti-promyshlennogo-oborudovaniya-do-30/>

국가 지원

해외에서는 사물 인터넷의 개발을 지원하기 위해 광범위한 국가 지원책과 수단을 활용하고 있다. 여기에는 새로운 솔루션의 개발을 위한 보조금 지원, 기술적 표준을 포함한 규제 개선, 5G 네트워크 배치를 포함한 디지털 인프라 개발에 대한 투자, 교육·전문 개발·재교육 프로그램에 대한 자금 지원, 세금 혜택 및 특혜, 국내 기업의 첨단 솔루션에 대한 정부 우선 구매 등이 포함된다. 해외 선진국들의 정책은 새로운 가치 사슬과 비즈니스 모델을 개발하고, 빠르게 성장하는 기업을 지원해 국제 시장에 대한 진입을 촉진하고, 고도로 숙련된 전문가의 국내 유입을 장려하는 것을 목표로 하고 있다.

미국에서는 2016년에 사물 인터넷의 개발에 대한 계획 및 기관 간 조정에 대한 법률이 채택되었다.²⁶ 중국에서는 2013년에 이미 관련 지침이 승인되었다.²⁷ 주로 4차 산업혁명으로의 전환을 위한 프로젝트와 계획, 스마트 팩토리 제작 및 사이버 물리 시스템 개발, 일부 스마트 시티 프로젝트에 투자가 이루어졌다. 독일 디지털 전략 2025(German Digital Strategy 2025)²⁸ 및 메이드 인 차이나 2025(Made in China 2025) 전략²⁹ 은 모두 사물 인터넷의 개발을 촉진하기 위해 설계된 것이다. IoT 기술 도입을 위한 포괄적인 로드맵을 자체적으로 개발 중인 주요 도시도 있다. 그 예시로는 뉴욕을 들 수 있다³⁰. 유럽 연합의 경우 최대 규모의 연구 및 혁신 프로그램인 호라이즌 유럽(Horizon Europe, 구 Horizon 2020)을 통해 차세대 IoT 전략을 구현하고 있다. 또한, 유럽 위원회의 디지털 유럽(Digital Europe) 프로그램은 기업, 시민, 유럽연합 정부에 데이터 및 클라우드 서비스를 제공해 다양한 부문에서 범 유럽의 데이터

공간을 조성할 계획이다. 오스트레일리아³¹, 영국³², 독일³³, 캐나다³⁴, 네덜란드³⁵, 싱가포르³⁶, 미국³⁷, 한국³⁸의 전략, 프로그램 및 계획 문서에는 IoT 관련 내용이 포함되어 있다.

지원 프로그램은 장비 측정 및 유지보수(미국, 중국), 에너지 소비 모니터링(미국, 중국, 한국), 의료용 냉장기 조건 제어(미국), 비닐하우스(미국, 일본), 교통량 모니터링 장비(중국, 일본, 영국, 독일), 스마트 시티를 위한 장치 등 다양한 응용 분야에서 IoT 장치의 개발과 구현으로 이어졌다.

사물 인터넷 구현을 위한 가장 발전된 에코시스템은 국제협력을 포함한 산-연-관의 연합과 컨소시엄을 기반으로 구성된다. 주요 과제는 연구개발 조정, 과학 및 교육 기관은 물론 규제 기관과 산업의 효과적인 상호협력 관계 구축, 기술 표준의 생성이다. 이러한 제휴는 IoT 시장의 주요 선두주자인 모든 국가에서 구축되어 왔다.

산업 인터넷 컨소시엄(Industry IoT Consortium³⁹, 미국)은 자체적인 연구실 장비, 테스트베드, 산업용 기술 테스트 시설을 갖추고 있으며 참가자들은 테스트베드에서 상호 협력한다. 성공하는 경우 IoT 프로젝트는 국제적으로 그 규모를 확장시킬 수 있다.

사물 인터넷 컨소시엄(Internet of Things Consortium⁴⁰, 미국)은 주로 커넥티드 홈, 교통, 도시, 재무 및 웨어러블 장치 영역에서 IoT 장치 및 서비스를 홍보하고, 소비자의 수요를 연구한다. 동 컨소시엄에는 미국의 대기업, 학술 센터, 정부 조직이 포함된다.

²⁶ <https://www.congress.gov/115/bills/s88/BILLS-115s88rfrh.pdf>

²⁷ <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/16531-China-IoT-Report-LR.pdf>

²⁸ <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/EN/Publikation/digital-strategy-2025.html>

²⁹ https://www.uschamber.com/sites/default/files/final_made_in_china_2025_report_full.pdf

³⁰ https://www1.nyc.gov/assets/cto/downloads/iot-strategy/nyc_iot_strategy.pdf

³¹ <https://www.csiro.au/en/Do-business/Futures/Reports/Future-Industries/Advanced-manufacturing-roadmap>

³² https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/664563/industrial-strategy-white-paper-web-ready-version.pdf

³³ <https://www.bmbf.de/bmbf/en/research/hightech-and-innovation/high-tech-strategy-2025/high-tech-strategy-2025.html>

³⁴ https://www.ic.gc.ca/eic/site/062.nsf/wwapj/DigitalCharter_Report_EN.pdf/USDfile/DigitalCharter_Report_EN.pdf

³⁵ <https://www.government.nl/documents/reports/2018/06/01/dutch-digitalisation-strategy>

³⁶ <https://www.imda.gov.sg/-/media/Imda/Files/SG-Digital/SGD-Framework-For-Action.pdf?la=en>

³⁷ <https://www.manufacturing.gov/sites/default/files/2021-06/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf>

³⁸ <http://english.msip.go.kr/cms/english/>

³⁹ <https://www.iiconsortium.org/>

⁴⁰ Internet of Things Consortium. 액세스: <https://iofthings.org/>

오픈 모바일 연합(OMA SpecWorks)⁴³ 은 스마트 장치의 연결을 위한 LwM2M 프로토콜 사용을 촉진하는 국제 협력 연합이다.

에지 컴퓨팅 컨소시엄(Edge Computing Consortium⁴⁴ , 중국)은 에지 컴퓨팅 산업에서 협업을 위한 플랫폼 역할을 수행한다. 여기에는 화웨이, 선양자동화연구소(중국과학원), CAICT, Intel, ARM Holdings 및 iSoftStone Information Technology(그룹)과 같은 조직이 포함되어 있다.

사물인터넷혁신협회(Alliance for Internet of Things Innovation⁴⁵ , EU)은 유럽의 기업에서 구현하기 위한 사물 인터넷 기술을 홍보, 연구, 개발 그리고 표준화한다. 동 협회의 구성원으로는 연구센터 및 대학교, 기술 개발 기업 및 통신 장치 제조업체가 포함되어 있다⁴⁶ .

KNX 협회(KNX Association, EU)는 가정용(스마트홈) 및 산업 자동화용 솔루션의 완전한 상호작용을 제공하는 KNX 인터페이스를 중심으로 한 유수의 상호경쟁 기업이 포함되어 있다.

국제전기통신연합(International Telecommunication Union, ITU)은 국제 표준 개발에 중요한 역할을 하고 있으며, 해당 연합의 표준화 부서에서는 사물 인터넷에 대한 작업을 진행하는 스터디 그룹 20(Study Group 20)을 설립하였다.

러시아에서는 사물 인터넷 협회(Internet of Things Association) 및 무선 통신 기술 및 사물 인터넷에 대한 국가 기술 이니셔티브(NTI)의 역량 센터 컨소시엄이 사물 인터넷 에코시스템의 개발에 중요한 역할을 하고 있다.

러시아에서 사물 인터넷이 활발하게 확산된 것은 비교적 최근의 일이다(2016~2017 년). 2017 년 이후부터 몇 가지 주요 전략, 프로그램, 계획 문서가 승인되었다. 테크넷 로드맵(TechNet Roadmap)은 미래의 공장을 만들 때 산업 생산을 관리하고 설계하기 위한 IT 시스템을 도입하는 것을 목표로 한다. 그간 러시아의 디지털 경제(Digital Economy) 국가 프로그램의 채택은 중요한 이정표라고 볼 수 있다⁴⁷ . 2017년에는 산업 인터넷의 개발을 위해 여러 가지 전문 기구가 설립되었다. 특히 러시아 연방 기술표준청

기술위원회(Technical Committee of Rosstandart) TC-194 사이버 물리 시스템(Cyber-Physical Systems) 및 산업 자동화를 위한 국가 플랫폼이 이에 속한다. 2018 년 말,^{47,48,49} 러시아 연방 산업무역부와 기술표준청은 2018~2025년까지⁵⁰ 첨단 생산 기술 분야에 적용되는 첨단 표준화 계획을 승인했다. 이는 개인 및 산업용 사물 인터넷, 빅데이터, 인공 지능, 사이버 물리 시스템 및 스마트 제조 표준 분야를 비롯해 70 개 이상의 규제 및 프로세스에 대한 문서 개발을 승인했다. 2019년 사물 인터넷에 대한 국가적 표준은 “정보 기술. 사물 인터넷. 협대역 무선 변조 기반 NB-Fi(협대역 충실도) 무선 데이터 프로토콜(Information Technology. The Internet of Things. NB-Fi (Narrow Band Fidelity) Wireless Data Protocol Based on Narrowband Radio Modulation)”로 명명되었으며, 이는 LoRaWAN RU 를 포함해 동 분야 최초의 표준으로 제정되었다⁵¹ . 2021년 러시아 기술표준청은 사물 인터넷, 센서 네트워크, 산업 사물 인터넷 분야 등에 대한 두 번째 국가 표준⁵² 을 승인했다.⁵³

러시아에서 IoT 기술은 주로 생산, 주택 및 공동 시설 서비스, 농업 부문에 도입되고 있다. 이들의 주요 활용 영역으로는 환경 모니터링, 화재 안전 그리고 기상 모니터링 등이 있다. 최근 몇 년간 주택 및 공동 시설 서비스의 디지털화와 스마트 그리드 및 스마트 계량기의 도입은 빠른 속도로 이루어졌다. 2018년 12월 27일자 연방 법률 제 522-FZ호, “러시아 연방의 전기 에너지(전력) 계량 시스템 개발과 관련한 러시아 연방의 특정 입법 수정안(On Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Connection with the Development of Electric Energy (Power) Metering Systems in the Russian Federation)”이 발효되었다. 동 법률은 아파트의 경우 공급업체가, 상업 및 단독주택의 경우 전력망 기업이 자체적으로 비용을 들여 계량 장치를 설치하도록 보장한다.

2019년에는 전력 시스템의 불안정성을 방지하기 위해 핵심 우랄 지역 전력센터에 새로운 디지털 설비를 설치하는 프로젝트가 시행되었다. 그리고 같은 해 혁신 및 사물 인터넷 의료 센터(Center

⁴¹ <https://omaspecworks.org/>

⁴² <http://www.eccconsortium.net/>

⁴³ <https://aioti.eu/>

⁴⁴ <https://aioti.eu/members/>

⁴⁵ <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>

⁴⁶ https://nti2035.ru/documents/docs/DK_technet.pdf

⁴⁷ <http://tc194.ru/>

⁴⁸ <http://nppa.ru/>

⁴⁹ <https://nti2035.ru/upload/iblock/41c/41cb2bc4c3bad4a7b6a2d99486abfdad.pdf>

⁵⁰ Ibid.

⁵¹ <https://docs.cntd.ru/document/1200177821>

⁵² <https://docs.cntd.ru/document/1200162760>

for Innovation and the Internet of Things in Healthcare)가 설립되었다. 많은 스마트시티 및 지역 프로젝트들이 모스크바, 상트페테르부르크, 카잔 및 예카테린부르크는 등 대도시는 물론 이노폴리스, 사로프와 같은 소도시에서도 시행되고 있다.^{53,54} 다음은 러시아 연방정부와 로스텍사이 체결된 협정에 따라 구현 중인 사물 인터넷 기술 로드맵의 목표이다.

- 규제 및 법적 장벽을 극복하고 최신 및 기존 표준의 조화를 통한 유리한 규제 환경 조성 등 기술 개발을 위한 여건 조성
- 사물 인터넷에 기반하여 상업으로 성공가능한 플랫폼, 서비스 및 솔루션의 도출을 위한 환경 조성
- 사물 인터넷을 위해 개발된 국내 데이터 전송 프로토콜, 소프트웨어, 플랫폼 및 이를 기반으로 하는 서비스의 상호운용성 측면에서의 시너지 효과

로스텍은 위에서 언급한 협정상의 의무를 이행하기 위해 사물 인터넷 첨단 기술 분야에 대한 역량 센터를 설립했다.

러시아 연방정부는 경제 및 사회 부문에서의 IoT 구현을 위해 다음과 같은 우선순위 영역을 지정하였다. 우선순위 영역은 환경 모니터링(특히 유해하고 유독한 산업 폐기물이 발생하는 산업에서의 배출 제어 시스템), 산업 안전(생산 공정에 대한 제어 시스템), 주택 및 공동 시설 서비스(공공서비스 사용량 모니터링 시스템), 스마트 홈, 스마트 시티, 대중교통 모니터링 및 관리, 도로 건설(RFID 태그, 장비 제어/자율 장비 자동화), 기상 관측(기상 조건 모니터링 시스템), 화재 안전(화재 안전 모니터링 시스템), 가치 있는 목재 종 표시(가치 있는 목재 종 수확 및 판매 추적 시스템) 등이다.

⁵³ https://iotas.ru/media/news_iot/806/

⁵⁴ <https://iothealthcare.sk.ru/>

발전 전망

사물 인터넷은 빠르게 성장하는 시장과 함께하는 중단간(end-to-end) 첨단 기술 분야이다. 이질적인 기술의 집합이 아닌, 단말기, 특수 애플리케이션, 데이터 통합 및 분석 생성의 상호작용을 보장하는 플랫폼을 기반으로 하는 생태계이다. 소비자는 IoT + 빅데이터 + AI + 클라우드 + 5G 와 같이 상호보완적인 기술들을 함께 사용할 때 비로소 사물 인터넷의 완전한 잠재력을 확인할 수 있게 된다.

최근 몇 년 동안 IoT 기술의 적극적인 도입과 다양한 산업의 수요 증가로 인해 러시아 시장은 해외 솔루션으로 포화된 상태였다. 이 부문에서 대부분의 러시아 국내 기업들은 통합업체 역할을 하며, 주로 해외 소프트웨어 및 하드웨어 솔루션을 사용하고 있다. 하지만 일련의 파일럿 구현을 거친 성공적인 러시아산 IoT 플랫폼도 등장하기 시작한다. 러시아의 상호작용 장비 및 단말 장치의 개발 수준 또한 세계의 선두주자에 비해 뒤처지지 않는다는 부분도 언급할 가치가 있다(대부분 해외 구성 요소 기반으로 제작됨). 러시아에서의 IoT 도입은 해당하는 글로벌 인프라를 구축하지 않고 국지적으로 수행되는 경우가 많기 때문에 결과적으로 그 경제적 효과는 아직 가능성만큼 크지 않다.

IoT 시장의 일부 부문(하드웨어 기반 - 센서, 프로세서 포함)은 전자 분야의 세계적 선도업체들이 장악하고 있기 때문에 신규 주자들은 진입하기가 어려운 실정이다. IoT 장치 및 산업용 애플리케이션 시장은 반면 수만 개의 기업이 존재하며, 상대적으로 진입 장벽이 낮기 때문에 상당히 세분화되어 있고 경쟁이 매우 치열하다. 러시아 기업은 바로 이 부문에서 입지를 다지고 강화할 기회가 있다. 하지만 글로벌 규모의 포괄적인 인프라 기반 없이는 러시아 국내 제품이 국제 시장에 진출하기란 거의 불가능하다. 또한 세계 시장에서 국내 개발 및 표준을 홍보하는 등 사물 인터넷 분야 국제 컨소시엄 및 연계 활동에 러시아의 선도 기업들이 참가할 수 있도록 보장하는 것도 필요하다.

2030년까지의 산업의 디지털 혁신과 사회경제적 개발 이니셔티브의 전략적 방향은 사물 인터넷의 도입을 규정하고 있다.^{55,56}

이는 로드맵에 제시된 우선순위를 반영하여 다음 목표를 제시하고 있다:

- 에너지: 소비자에게 전기 및 가스용 스마트 계량기의 제공, 에너지 기업들의 IoT 기술을 활용한 데이터 수집, 생산 인력에 대한 디지털 웨어러블 장치의 제공, 분산 스마트 에너지 시스템의 일환으로 IoT의 구현
- 생산: 산업 사물 인터넷 사용, 데이터 수집 및 감독 제어를 사용한 실시간 공정 관리
- 도시 경제, 주택 및 공동 시설 서비스: 스마트 홈을 위한 역량센터의 조성, 지방(엔지니어링) 인프라(스마트 수자원, 스마트 난방, 스마트 도시 조명)의 지능형 관리 구현, 아파트 및 개인주택 모두에 중단간 디지털 서비스의 원활한 제공을 위한 무선 통신 인프라의 사용과 파견 시스템 및 자동화된 프로세스 제어 시스템의 제공
- 운송: 예측 분석, 사물 인터넷 장치에서 수집한 데이터를 비롯해 AI 및 빅데이터 기술을 사용한 교통 흐름 시뮬레이션, 무인 물류 회랑, 자율 주행 운송 및 무인 항공 화물 배달(에어 택시) 개발을 위한 사물 인터넷의 구현
- 농업 부문: 다양한 응용 분야(잡초 탐지, 식물의 디지털 표현형, 질병 감지 등)를 위한 원격 토양 및 식물 모니터링 서비스 구현, 디지털 생산 관리 플랫폼, 사이버 물리 시스템 및 사물 인터넷을 위한 클라우드 기반 관리 시스템, 예측 플랫폼 등의 구현
- 의료: 개인 의료 보조원을 활용한 원격 의료 모니터링

사물 인터넷 구현을 널리 확산시키기 위해서는 규제 개발과 정부의 지원이 필수적이다. 단기적으로는 특히 다음 사항이 요구된다:⁵⁷

- 저렴한 장기 대출(2019년 12월 5일자 러시아 연방정부 행정명령 제 1598호에 의거) 및 보조금을 통한 IoT 기술 개발 및 구현 지원
- 수출 지원을 위한 첨단 IoT 솔루션의 목록 작성

⁵⁵ 연방 집행 기관에서 개발하고 2021년 말~2022년 초 일련의 러시아 연방정부 행정명령을 통해 승인

⁵⁶ 2021년 10월 6일자 러시아 연방정부 명령 제 2816-r호에 의해 승인

⁵⁷ ANO Digital Economy의 플랫폼에서 생성된 제안서

- 스마트 빌딩의 표준 개발
- 러시아의 주요 IoT 프로젝트 목록 작성 (디지털 인프라 기본 수준 개발 및 생산 포함)
- 러시아 연방 영토에서 IoT 기술을 기반으로 하는 장치·애플리케이션·서비스의 현황을 확인하고 정의하는 법규제의 현행화, 러시아 연방 영토의 사물 인터넷에 대한 정보보호를 겨냥한 법규제의 현행화, 러시아 연방 영토의 사물 인터넷에 대한 국내 장비 및 소프트웨어 현황의 확인⁵⁸
- 국제전기통신연합(International Telecommunication Union, ITU) 및 통신 분야의 지역 연합에서 IoT 분야의 표준(추천) 및 기타 문서 홍보, 러시아를 대표하여 국제표준화 기구(International Organization for Standardization, ISO) 및 국제전기표준회의(International Electrotechnical Commission, IEC)에 국제 및 지역 표준에 대한 제안서의 제출⁵⁹
- 국가 차원에서 IoT 표준이 국제 표준과 조화되도록 개발하고 현행화함⁶⁰

IoT의 개발은 정부, 대기업(공기업 포함) 및 민간 기업에서 IoT 제품 및 서비스에 대한 국내 수요를 부양하는 등 초기 단계 러시아 유망 혁신 기업들이 확장할 수 있는 환경이 조성되지 않으면 불가능한 일이다. 러시아에서 사물 인터넷을 효과적으로 개발하기에 필요한 조건은 다음과 같다:

- 정부 및 대기업의 수요 창출을 비롯한 사물 인터넷 제품 및 서비스를 위한 시장 개발의 촉진
- 신기술의 개발 및 구현에 대한 국가 (공동지원 포함) 지원(디지털 기술 연방 프로젝트, 국가 기술이니셔티브의 구현을 위한 지원금, 보조금, 대출 지원 등)
- IoT 기술 개발 및 구현에 대한 규제의 장벽을 제거하고, 국내 솔루션 사용에 대한 제약 및 요건 구축

중기적(~2024년)으로는 다음 사항이 권장된다:⁶¹

- 디지털 인프라(센서, 액추에이터, 카메라 등)의 기본 단계의 실전은 물론 해외 사물 인터넷 솔루션에서 마이그레이션하기 위한 지원 조치 도입
- 다양한 산업 분야의 데이터 수집, 분석 및 저장에 대한 규정과 데이터를 수집, 저장, 처리하는 시장 참가자 간의 데이터 교환 프로세스를 최적화하기 위한 개방형 산업 표준 개발

⁵⁸ 사물 인터넷 기술 로드맵에 따름.

⁵⁹ 러시아 연방에서 협대역 무선 통신 네트워크 IoT의 구축 및 개발을 위한 개념 구현을 위한 계획(로드맵)

⁶⁰ 사물 인터넷 기술 로드맵에 따름.

⁶¹ ANO Digital Economy의 플랫폼에서 생성된 제안서

5세대 모바일 네트워크



약어

BS	기지국
ICT	정보통신기술
SW	소프트웨어
5G	5세대 모바일 네트워크
6G	6세대 모바일 네트워크
AR/VR	증강 현실/가상 현실
eMBB	훨씬 빠른 속도, 낮은 신호 지연, 더 많은 연결을 지원하는 향상된 모바일 광대역
LTE	Long-Term Evolution, 가장 보편적인 4세대 이동통신 표준
MEC	모바일 에지 컴퓨팅
mMTC	전력을 적게 소모하고 연결된 장치를 대량으로 이용하는 대규모 기계 유형 통신
mmWaves	밀리미터파
QoS	서비스 품질
SEP	표준 필수 특어
URLLC.	초고신뢰 저지연 통신
XR	확장 현실

디지털 기술은 세상을 빠른 속도로 변화시키고 있다. 모든 사람은 삶에서 그 영향을 이미 느끼고 있으며 경제 및 사회 거의 모든 부문은 디지털 전환의 일부 특정 단계를 거치고 있다. 변화의 속도가 너무 빠르기 때문에 디지털 경제의 새로운 현실에 빠르게 적응하는 능력만이 개별 기업과 전체 경제 부문이 경쟁력을 유지할 수 있는 핵심 요소가 된다.

20 여년 전 인터넷의 이론가 및 실무자들은 가까운 미래에 의료부터 철강 산업에 이르기까지 모든 산업의 성공이 조직 및 프로세스의 최적화보다는, 디지털 기술 분야의 과학적이고 기술적인 혁신에 의해 결정될 것이라 예측했다. 그리고 강력하고 유연한 디지털 네트워크는 새로운 생산과 관리 체계에 반드시 필요한 “생명줄”이 되었다. 디지털 경제에 있어 가장 큰 기술적 과제들은 5 세대 모바일 네트워크로 해결될 전망이다. 5G 는 경제 및 사회 부문에서 최신 기술의 도입을 촉진하고, 이는 대규모 디지털화, 로봇화,

여러 산업 프로세스의 자동화로 이어질 것이다. 지금 새로운 패러다임이 떠오르고 있다: 통신망은 전 세계적으로 인간의 삶과 일, 사회 및 경제 활동을 변화시키는 만능 플랫폼으로 자리 잡고 있다.

2019 년 7 월 러시아 연방정부는 국영기업 로스텍(Rostec State Corporation) 및 로스텔레콤(Rostelecom)과 5 세대 모바일 네트워크 공동 개발에 대한 공동 개발 협정을 체결하였다. 각 당사자는 로드맵을 개발¹ 하고 러시아의 5G 개발을 위한 책임 영역을 정의하는 협력의향서에 서명하였다. 로드맵에 따라 로스텍은 5G 모바일 네트워크용 통신 제품을 개발하고, 로스텔레콤은 인프라 및 해당 서비스와 디지털 플랫폼 구축을 담당하고 있다.

5 세대 모바일 네트워크란?

이동통신 네트워크는 선진국에서 정보 인프라의 중추를 담당하고 있다. 이제 모바일 통신 네트워크는 더 이상 기술적 우위가 아닌, 대부분 산업의 핵심 자원으로 자리 잡은 기본적인 요건이다. 대량 디지털화와 정보 및 통신 기술의 도입으로 최신 세대 모바일 네트워크는 모든 생산 프로세스, 산업, 경제 전반에 영향을 미치기 시작했으며 빠르고 극적인 변화를 이끌고 있다. 5G 기술과 서비스는 디지털 전환의 기반이자, 새로운 비즈니스 모델 및 산업 발전 시나리오의 인프라 및 기술적 기반이 되고 있다.

정보 인프라를 위한 5G 기술의 가장 중요한 것은 동 분야 기술적 자립의 필요성이다. 이는 해외 공급업체에 대한 의존도를 최소화 하도록 러시아 내 소비자를 위한 5G 네트워크 및 서비스의 기반이 될 장비와 소프트웨어가 러시아 국내에서 개발 및 생산되어야 한다는 것을 의미한다. 이 경우 국내 개발품을 반드시 국제 표준에 맞춰 진행하여, 국내에서 생산되는 디지털 솔루션이 글로벌 시장에서 경쟁력을 갖출 수 있게 해야 한다. 5G 네트워크용 통신 장비는 국가 안보를 위해 명백히 고려해야 하는 사항이기도 하지만, 통신 장비 시장에서 가장 빠르게 성장하며 그 자체로도 관련 기술 분야의 구동력이 되는 부문이다. 전문가에 따르면 통신 장비 분야는 전 세계에 서 생산되는 전자 부품 기반의 35% 이상을 차지한다.

¹ 5 세대 모바일 네트워크 기술 로드맵(Technology Roadmap of Fifth-Generation Mobile Networks)은 2020 년 11 월 16 일, 삶의 질 및 비즈니스 환경 개선을 위한 정보 기술 사용 제 27 호에 게재된 디지털 개발 정부 위원회 상임 회의록에서 승인됨. 이는 2019 년 7 월 8 일자 러시아 정부 행정명령 제 1484-r 호에 따라 5 세대 모바일 네트워크를 개발하기 위해 2019 년 7 월 10 일자 러시아 정부, 로스텍, 로스텔레콤 사이에서 체결된 협정의향서를 이행하기 위한 주요 메커니즘임.

지금까지 모든 선진국(미국, 중국, 한국, 일본, EU 주요 국가, 영국 등)은 경제 발전 및 전략적 인프라 보안을 위한 5G의 각별한 중요성을 지적하였다. 이중 특히 중국과 미국은 이미 동 분야에서 상당한 과학기술 기반을 구축해둔 상태이다.

중국은 기초(지난 3 년 동안 전 세계 과학 간행물의 1/4 차지) 및 응용(2017~2019 년 전체 특허출원 중 거의 절반 차지) 연구에서 상당한 격차로 선두를 달리고 있다. 상위 3 개 선진국들 중에는 미국도 포함되어 있지만, 특허 건수에서는 중국의 1/4 수준에 그친다. 출판 활동에서 상위 5 개 국가에는 인도, 영국, 독일이 포함되어 있고, 특허 출원 수를 기준으로 하면 한국, 일본, 스웨덴이 포함된다. 러시아는 양 지표에서 모두 상위 20 위 내에 든다.

2020 년 말까지 전 세계적으로 5G 기술에 초점을 맞춘 과학 논문은 총 30,000 건 발표되었으며 여기서 반 이상은 최근 3 년 이내에 발표된 것이다(그림 1). 동 분야에서 러시아 과학 간행물의 점유율은 2020 년 1.8%로 증가하였고, 이는 다른 첨단 기술 분야와 비슷한 수준이다. 가장 큰 도약은 2016 년에 이루어졌다. 이때는 러시아 간행물의 수는 3 배 이상 증가했고, 세계 점유율에서도 역시 약 2 배 증가했다.

전 세계 특허 출원 건수는 2015 년 이후 매우 역동적으로 증가하였으며, 2019 년 한 해에만 42% 증가했다(그림 2). 그 중 대부분은 같은 해 성장률이 70%에 달한 중국의 특허 활동으로 인한 결과이다. 지난 몇 년 동안 러시아의 특허 출원 건수는 전 세계 총합의 0.1%에 지나지 않는 미미한 수준이었다. 이는 러시아의 5G 기술 성숙도가 선진국들에 비해 낮다는 것을 의미한다.

그림 1. 간행물 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

특허 분야에서 선도적인 기업은 화웨이, 노키아, 퀄컴, 에릭슨, BBK 일렉트로닉스, 삼성이다. 동 분야에서 리스크로 작용하는 것은 소수 독점 기업이 보유한 대다수의 특허가 표준 필수 특허(SEP)라는 점이다. SEP에 대한 라이선스를 얻지 못하면, 그 어떤 기업에서도 통신 장비를 시장에 출시하거나 5G 네트워크 아키텍처를 구축할 수 없다. SEP의 보유자는 엄청난 이익(로열티)을 볼 수 있는 데 비해, 제조업체들은 특허 등록기술의 적법한 사용과 관련 높은 비용을 부담해야 한다.

5세대 모바일 네트워크의 개발 우선순위는 중앙 정부와 주요 통신 사업자가 동 분야에 투자를 꾸준히 늘리고 있는 것을 보면 알 수 있다. 2019년 5G 네트워크 인프라에 대한 전 세계 투자 규모는 미화 41억 달러였으며 2020년에는 81억 달러 이상이었다(전 세계 5G 네트워크 인프라의 70% 이상을 차지한 중국의 개인용 데이터는 제외함)³.

5G 인프라(네트워크 장비)의 개발은 주로 통신 사업자용 장비를 제조하는 대규모 제조업체에 의해 투자가 이루어진다. 이러한 기업으로는 화웨이, 에릭슨, 노키아, ZTE, 삼성이 있다(이 5개 기업이 모바일 캐리어급 장비 시장의 95%를 점유함)⁴. 이들의 2020년 연구개발에 대한 총 투자액은 미화 300억 달러를 상회했으며, 비용의 약 80%가 이동통신을 위한 네트워크 장비에 사용되고 있다. 이 같이 선도 기업의 연구개발 비용은 계속 증가하고 있다(지난 5년 동안 약 30~40%).

향후 5년 동안 5G 시장은 폭발적인 성장이 예상된다: 2020년부터 2026년까지 그 규모는 100배 이상 증가해 미화 6,679억 달러에 달할 수도 있을 것이다.⁵ 이미 2021~2022년에 급격한 수요의 상승은 예측되었으며, 이는 5G 지원 솔루션의 기술적 성숙도 수준의 상승과 관련 서비스의 가용성 확대와 연관된다.

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

² <https://venturebeat.com/2019/05/02/china-dusts-the-u-s-finland-and-south-korea-with-34-of-key-5g-patents/>

³ <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/gartner-says-worldwide-5g-network-infrastructure-spending-to-almost-double-in-2020>

⁴ <https://www2.deloitte.com/xe/en/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/2021/radio-access-networks.html/#endnote-15>

⁵ <https://www.alliedmarketresearch.com/5g-technology-market>

기술

5G 기술은 통신 네트워크의 인프라 기반(기능 모듈 및 네트워크 구성 요소)을 구축하고 애플리케이션, 서비스 및 플랫폼 솔루션을 개발하는 데 모두 사용된다(그림 3). 현재 글로벌 시장은 하드웨어 및 소프트웨어를 포함 성숙도가 높은 다양한 솔루션을 제공하고 있다.

대부분의 국가에서 5G 분야의 응용 솔루션 구현을 위한 출발점은 5세대 네트워크에 필요한 주파수 대역을 할당하는 것인데, 이것이 없으면 5세대 네트워크는 제대로 작동할 수 없다. 각국은 2018년부터 5G 네트워크 대역의 적극적인 “허가제”가 진행 중이다. 이미 미국, 한국, 영국, 캐나다, 체코, 오스트리아, 독일, 그리스, 네덜란드 및 기타 국가에서는 주파수 경매를 진행하였다.

5G는 확산 측면에서 이전 세대의 표준을 앞지르고 있다. 첫 번째 5G 네트워크는 2018년 테스트 모드로 최초 출시되었다. 2019년에는 세계 최초로 전국적인 상용 5G 네트워크가 한국에서 등장했다. 5G 네트워크는 2020년 말까지 서울의 약 80%, 기타 6개 주요 도시의 30%를 커버했다. 한국의 인터넷 사용자 5명 중 1명은 최초 출시 이후 2년 만에 5G 네트워크에 접속할 수 있게 된 것이다(총 가입자 수 1,300만 명 이상)⁶.

현재 거의 모든 5G 기술군에서 활발한 성장과 상용화가 진행되고 있지만 그 기술 성숙도 수준은 기술별로 조금씩 다르다(그림 4). 또한 각 기술이 차지하는 통신 시장의 점유율도 조금씩 다르다. 예를 들어, 에릭슨(Ericsson)⁷의 연구에 따르면 5G 가입자 장치 시장의 성장률은 전반적인 스마트폰 시장의 변천보다 훨씬 빠르다(예: 5G 장치는 이전 세대의 통신 시스템을 위해 설계된 기존 장치를 점진적으로 대체할 것).

5G 가입자 장치 시장의 주요 구동력은 센서, 수신기, 기타 장비를 비롯한 사물 인터넷의 개발을 성장시킨다(평균 연간 성장률 73%)⁸. 특히 산업 사물 인터넷의 확산과 그 응용 범위(산업 자동화, 스마트 시티, 에너지 효율 네트워크 등)의 확장으로 5G 가입자 장치에 대한 수요는 증가하고 있다.

5G 기반 서비스 및 플랫폼의 성장은 가장 매우 빠르게 발생할 가능성이 높다. 최근에는 주로 코로나 19 팬데믹과 관련하여 개인간 물리적 접촉을 최소화하는 애플리케이션(가상 회의 및 컨퍼런스, 원격 학습, 원격 진료, 데이터 스트리밍을 위한 도구)에 대한 수요가 분명히 증가하는 추세에 있으며, 이는 증강 현실 및 가상 현실(AR/VR)과 같은 기술의 필요성도 증가시키고 있다. 이러한 기술의 본격적인 구현은 허용 가능한 지연범위 내에서 높은 서비스의 품질(QoS)과 대용량 데이터를 전송하고 처리하는 차세대 통신 네트워크 인프라의 개발 없이는 불가능하다.

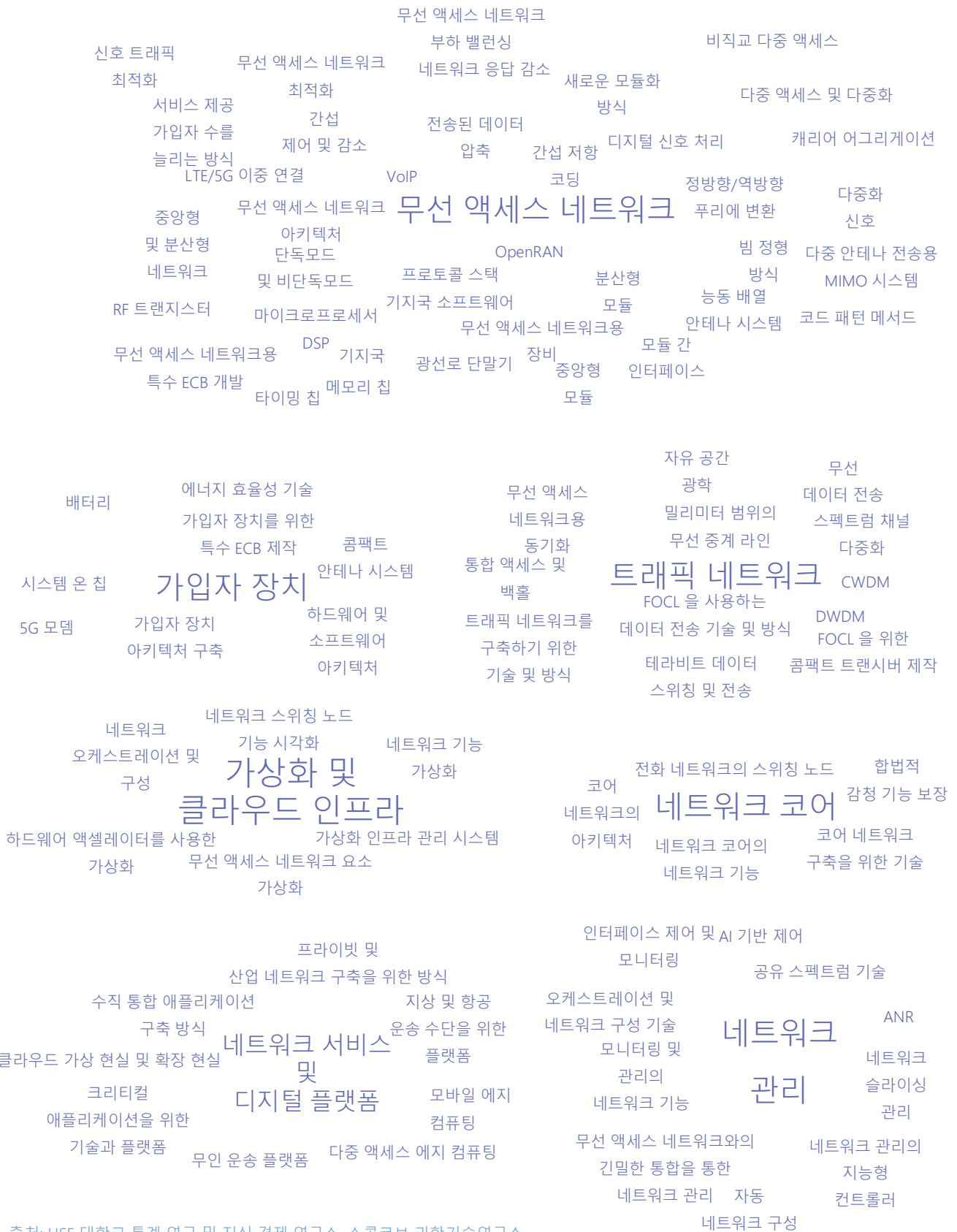
차세대 통신 네트워크의 첨단 구현 방향으로는 밀리파(mmWaves) 범위로의 전환, 근본적으로 새로운 디지털 데이터 처리방식(새로운 변조 방식, 노이즈 방지 코딩 등), 다중 액세스 및 다중화(비 직교 다중 액세스 및 캐리어 어그리게이션), 무선 자원 매개변수의 “슬라이싱” 및 동적 선택 방식을 포함한 무선 리소스 계획 기술 및 방식, 다중 안테나 데이터 전송 기술 및 방식(빔 정형 알고리즘 및 방식, 공간 코딩, 신호 다중화, 어레이가 있는 액티브 안테나 시스템 조성 기술 등), 초고 신뢰 저지연 통신을 보장하는 기술 및 방식 등이 있다.

⁶ <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/35780/Entering-the-5G-Era-Lessons-from-Korea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁷ <https://www.ericsson.com/4ad7e9/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2021/ericsson-mobility-report-november-2021.pdf>

⁸ https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/5g-iiot-market-164027845.html?gclid=EAlalQobChMlr7-3i4_J8gIV10eRBR15uAEbEAAAYAiAAEgJa3fD_BwE

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조

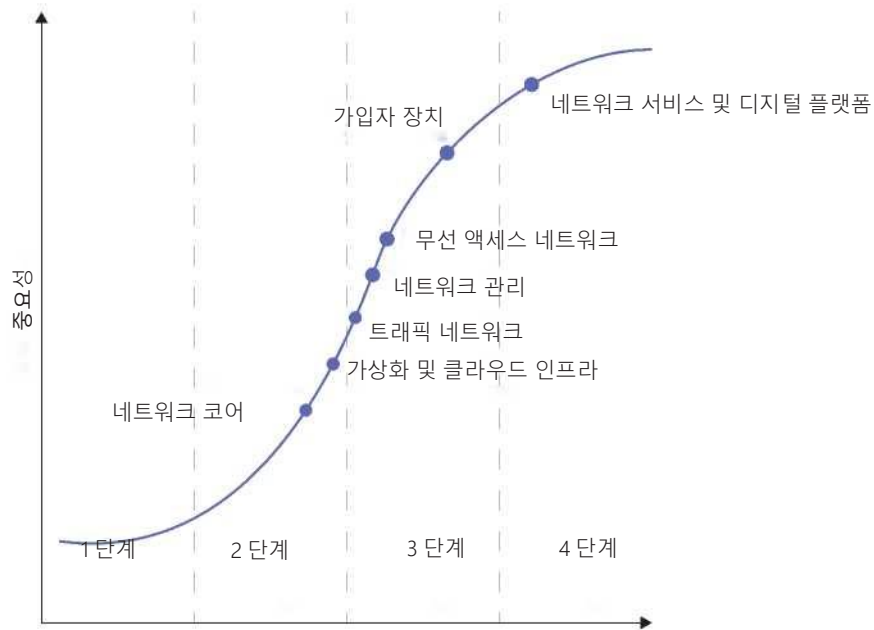


AR/VR 클라우드 애플리케이션, 동영상 애플리케이션 및 대용량 사용자 트래픽(eMBB 트래픽)으로 운용되는 여러 가지 기타 애플리케이션의 개발은 위에 언급한 기술 분야에 새로운 솔루션뿐만 아니라, 대용량 트래픽을 처리하도록 설계된 다른 기술군(최적화, 압축, 응답 시간 감축 방식 등)이 등장하는 데에도 기여할 것이다.

이러한 기술을 구현하기 위해서는 주파수 영역 할당과 광범위한 센티미터 및 밀리미터 대역 할당이 반드시 전제되어야 한다.

5G 기술을 기반으로 하는 초고신뢰 저지연 통신(URLLC), 대규모 머신 유형 통신(mMTC), 네트워크 슬라이싱, 에지 컴퓨팅의 활용 가능성은 산업 솔루션 개발에 매우 중요하다.

그림 4. 기술 성숙도 곡선



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

방법론. 중요성은 기술 성숙도 수준을 특징 지으며, 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)에서 지정된 기간 내의 기술에 대한 표준화된 언급을 반영한다. 연구개발의 집중도에 따른 4 단계는 다음과 같다.

- I 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- II 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- III 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- IV 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

모든 5G 기술군은 긴밀하게 상호 연결되어 있기 때문에 가입자 장치 시장의 발전에 따라 다른 기술도 활발하게 발전하고 있다. 동시에 표준화 및 특허 프로세스는 실질적으로 완료된 상태이기 때문에 네트워크 코어, 무선 액세스 네트워크, 트래픽 네트워크, 네트워크 관리와 같은 영역의 투자 규모는 점차적으로 감소하고 있는 반면, 이러한 기술로 구동되는 제품들의 규모는 성장하여 이전 세대의 통신 장비를 대체해 나갈 것이다.

전 세계의 특허 출원 수를 봤을 때, 가입자 장치 부문은 다른 기술군에 비해 훨씬 앞서고 있다(그림 5). 2019 년 가입자 장치 부문의 총 특허 출원 수는 다른 모든 부문의 총 출원 건수와 유사하다. 인프라 솔루션 및 네트워크 구성 요소의 성숙도가 높아짐에 따라, 기업의 비즈니스적 관심은 네트워크 서비스 및 디지털 플랫폼의 개발 및 상용화로 이동해 간다. 바로 동 부문에서 특허 출원활동이 가장 빠르게 성장하게 되는데, 2019년에는 특허출원 수가 전년도 대비 약 4 배나 증가하였다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 활동 주요 지표

	과학 간행물			특허 출원				
	전 세계	러시아	비중 러시아(단위: %)	전 세계	러시아	비중 러시아(단위: %)		
가입자 장치	2020	2441	47	1,9	2019	2703	2	0,1
	2015	437	0	↑	2015	419	0	↑
	2010	92	0	0	2010	48	0	0
무선 액세스 네트워크	2020	3908	72	1,8	2019	486	0	0
	2015	689	6	↑	2015	101	0	↑
	2010	44	0	0	2010	8	1	12,5
트래픽 네트워크	2020	641	10	1,6	2019	105	1	1,0
	2015	146	0	↑	2015	12	0	↑
	2010	3	0	0	2010	0	0	0
가상화 및 클라우드 인프라	2020	1016	24	2,4	2019	34	0	
	2015	212	1	↑	2015	5	0	
	2010	4	0	0	2010	0	0	
네트워크 코어	2020	1260	20	1,6	2019	527	0	
	2015	213	2	↑	2015	76	0	
	2010	43	1	2,3	2010	15	0	
네트워크 서비스 및 디지털 플랫폼	2020	1342	38	2,8	2019	776	0	
	2015	68	0	↑	2015	14	0	
	2010	21	0	0	2010	5	0	
네트워크 관리	2020	1468	34	2,3	2019	414	0	
	2015	307	3	↑	2015	83	0	
	2010	31	0	0	2010	5	0	

출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

러시아와 전 세계의 연구계는 무선 액세스 네트워크에 특히 관심을 보이고 있다. 이는 6세대 이동통신 기술인 6G로의 전환을 비롯해, 동 분야의 지속적인 개발 관련 사안에 대한 과학적 논의가 지속되고 있음을 보여준다.

현재 러시아와 선진국간 5G 인프라 개발 수준과 이를 기반으로 한 산업내 서비스의 확산은 상당한 격차를 보이고 있다(표 1). 지금도 그 격차는 상당하다. 미국, 중국, 한국의 5G 보급률은 15~20%인 반면 러시아에서는 특정 시범 구역 내에서만 동 기술이 구현되고 있다. 5년 후에는 선진국의 인구 절반 이상이 5G 통신 네트워크에 접속 가능할 것으로 전망된다.

표 1. 러시아 및 선진국의 5세대 모바일 네트워크 도입에 대한 현재 상황 및 계획 비교

지표	계획 기간	미국	중국	영국	한국	러시아
상용 출시를 위한 무선 주파수 자원 할당	현재	모든 대역의 스펙트럼	낮거나 중간 대역의 스펙트럼	모든 대역의 스펙트럼	모든 대역의 스펙트럼	24.25~24.65GHz 범위의 스펙트럼, 네트워크 구축 불가
	2024~2025	중간 범위까지 스펙트럼을 확장하는 조치 고려				2024년까지, 5G 용 스펙트럼
1000 명당 5G 기지국(BS) 수	현재	0.226	0.635	0.059	3.24	0
	2024~2025	N/A	3.47	0.736	16.96	0.071 미만
	2030	N/A	N/A	N/A	N/A	2.85
5G 인구 확산율	현재	15%	26%	8%	24%	0
	2024~2025	51%	48%	35%	53%	11%
네트워크의 지리적 커버리지	현재	약 280 개 도시	약 340 개 도시	약 55 개 도시	약 85 개 도시	개별 시범 구역
	2024~2025	N/A	N/A	N/A	N/A	인구 100 만 명 이상인 10 개 도시
	2030	N/A	N/A	N/A	N/A	인구 100 만명 이상인 15 개 도시 및 근접 위성도시(30~60 개)
산업 서비스 구현 정도	현재	테스트 프로젝트 및 진행 중인 프로젝트가 다수 있음	이미 구현되었거나 진행 중인 프로젝트가 다수 있음	테스트 프로젝트가 다수 있음	테스트 프로젝트 및 진행 중인 프로젝트가 다수 있음	제한된 수의 테스트 폴리곤

(끝)

지표	계획 기간	미국	중국	영국	대한민국	러시아
산업 서비스 구현 정도	2024~2025	많은 경제 부문에서 5G 기능 사용	많은 경제 부문에서 5G 기능 사용	이미 구현되었거나 진행 중인 프로젝트가 다수 있음	많은 경제 부문에서 5G 기능 사용	시험장 확대 및 대규모 프로젝트 개시
	2030	경제 디지털화 완성	경제 디지털화 완성	많은 경제 부문에서 5G 기능 사용	경제 디지털화 완성	이미 구현되었거나 진행 중인 프로젝트가 다수 있음
국가 경제에 대한 5G의 기여(GDP 성장)	2024~2025	N/A	N/A	미화 200 억 달러	미화 303 억 달러	느린 시작으로 최소 수준
	2030	미화 4,000~5,000 억 달러	미화 2,200 억 달러	미화 600 억 달러	미화 478 억 달러	약 1 조 루블 (조기 출시 시 2.4 조 루블 잠재 가치 예상)

출처: 스콜코보 과학기술연구원, 로스텔레콤

5G 기술의 확산 수준과 범위의 차이는 주로 배정된 자금과 선진국들의 정책 조치에 따라 결정된다. 중기적으로 봤을 때 다음과 같은 세 가지 주요 이정표가 세계의 5G 개발의 궤도를 결정할 것이다.

- 중국은 글로벌 5G 시장에서 우세한 위치를 점유했다. 이는 중국의 13 차 국가 발전 5 개년 계획(2016~2020 년)에서 5G 를 핵심 기술 영역으로 승인하고, 2021 년~2023 년까지의 산업을 위한 3 개년 로드맵에 따라 5G 네트워크 배포를 가속화하는 등 정부의 적극적인 지원 조치의 큰 도움을 받았기 때문이다.
- 국제 오픈랜(OpenRAN) 프로젝트가 출범하여 중국제 장비를 사용하지 않기로 한 국가(미국, 영국, 일본 등)에서 지지를 받았다.
- 세계에서 가장 큰 규모의 모바일 시장인 중국과 인도는 해외 제조업체에 대한 접근이 정부 기관, 내부 규정 및 표준에 의해 엄격하게 통제되어 고립된 상태이다.

제품 및 시장

선도기업이 주요 주력 제품의 연구개발에 투자한 금액은 미화 2,000 억 달러 이상일 것으로 추정된다. 예측에 따르면 관련 시장은 적어도 2026년까지 높은 속도로 지속 성장할 전망이다. 그 이후 2026년~2028년경에는 5G+/6G 네트워크가 개선되고 이에 따라 주력 제품도 발전이 정점에 이르면서 성장률이 둔화될 것으로 전망된다.

대부분의 주력 제품에 대한 시장은 고도로 집중된 모습을 보이며, 2~3개의 주요 기업이 70% 이상을 점유하고 있는 경우가 많다. 예를 들어 Apple은 가입자 장치 분야에서 절반 이상의 점유율을 보인다(52%). 화웨이, 노키아, ZTE, 에릭슨은 무선 액세스 네트워크 및 코어 네트워크, 네트워크 서비스 및 디지털 플랫폼과 같은 부문을 장악하고 있다(표 2).

표 2. 주력 제품 및 글로벌 선도업체 예시

제품 그룹	세계 선도 기업	제품 그룹에서 시장 점유율(매출액, 단위: %)	연구개발 투자액(단위: 미화 10억 달러)
가입자 장치	샤오미(Xiaomi), 중국	6	17
	삼성전자(Samsung Electronics Co.), 대한민국	14	18.8
	BBK 일렉트로닉스(BBK Electronics Corporation, OnePlus, OPPO), 중국	7	7
	애플(Apple), 미국	52	20
	비보(Vivo Corporation), 중국	7	—
	기타	14	—
무선 액세스 네트워크	화웨이(Huawei Technologies Co.), 중국	33.9	20
	에릭슨(Telefonaktiebolaget L. M. Ericsson), 스웨덴	27	4.5
	노키아(Nokia Corporation), 핀란드	17	5
	중흥통신(ZTE Corporation), 중국	15.4	2
	삼성전자(Samsung Electronics Co.), 대한민국	4.3	18.8
	기타	2.4	—
네트워크 코어	화웨이(Huawei Technologies Co.), 중국	25	20
	시스코(Cisco Systems), 미국	7	6
	노키아(Nokia Corporation), 핀란드	15	5
	중흥통신(ZTE Corporation), 중국	10	2
	기타	17	—
트래픽 네트워크	시스코(Cisco Systems), 미국	34	6
	노키아(Nokia Corporation), 핀란드	17.4	—
	주니퍼 네트워크스(Juniper Networks), 미국	14.3	1

(끝)

제품 그룹	세계 선도 기업	제품 그룹에서 시장 점유율(매출액, 단위: %)	연구개발 투자액(단위: 미화 10억 달러)
	화웨이(Huawei Technologies Co.), 중국	8.9	20
	에릭슨(Telefonaktiebolaget L. M. Ericsson), 스웨덴	21.4	4.5
	기타	4	—
네트워크 서비스 및 디지털 플랫폼	모토로라(Motorola Solutions), 미국	17	0.7
	에릭슨(Telefonaktiebolaget L. M. Ericsson), 스웨덴	19	4.5
	화웨이(Huawei Technologies Co.), 중국	39	20
	AT&T, 미국	7	1.3
	탈레스 그룹(Thales Group), 미국	14	0.2
	마베니어(Mavenir Systems), 미국	4	—

출처: 스크코보 과학기술연구원

지난 몇 년 동안 전 세계의 5G 네트워크의 개발 방향은 테스트 및 시범 출시에서 주요 도시에 대한 대규모 인프라 설치로 옮겨갔다. 2020년 말까지 10억 명 이상(세계 인구의 약 15%)이 5G 네트워크를 사용하게 될 것이다. 에릭슨의 예측에 따르면 이 지표는 2026년 60%에 도달할 전망이다⁹.

5G 서비스의 글로벌 시장은 동 기간 동안 매년 약 30%의 성장률을 보이며 2026년까지 대략 미화 2,500억 달러 규모로 성장할 것으로 예상된다¹⁰. 일반적으로 제품 시장의 변천은 해당 분야의 개발 추세를 따르며, 각 기술 구성 요소와 밀접하게 연계되어 있다. 제품 그룹과 해당 주력 제품은 두드러진 각 기술군을 기반으로 구성된다(표 3).

표 3. 5세대 모바일 네트워크 기술로 지원되는 주력 제품

제품 그룹	주력 제품
가입자 장치	사용자 가입자 단말기(스마트폰, 태블릿, 노트북, 고정 단말기) 특화된 가입자 단말기(5G 내장 모뎀, 5G를 지원하는 센서 및 측정 모듈 등)
무선 액세스 네트워크	기지국 트랜시버 모듈 능동형 기지국 안테나 시스템 수동형 안테나 시스템 분산형 기지국 모듈 중앙집중형 기지국 모듈 소형 기지국(마이크로셀, 펌토셀)

⁹ <https://www.ericsson.com/4a03c2/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2021/june-2021-ericsson-mobility-report.pdf>

¹⁰ https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/5g-services-market-226908556.html?gclid=EAlalQobChMI36fHk-K88gIVBWEYCh2FMQ11EAAYiAAEgJ83_D_BwE0

제품 그룹	주력 제품
네트워크 코어	5G 코어 모듈을 위한 소프트웨어 및 하드웨어
	IMS 서비스를 위한 소프트웨어 및 하드웨어 지원 서비스
트래픽 네트워크	액세스 레벨 네트워킹 및 스위칭 장비
	어그리게이션 레벨 네트워킹 및 스위칭 장비
	코어 레벨 네트워킹 및 스위칭 장비
	광채널 다중화 포함 네트워킹 및 스위칭 장비(DWDM, CWDM)
네트워크 서비스 및 디지털 플랫폼	미션 크리티컬 애플리케이션용 플랫폼 구동을 위한 소프트웨어
	차량용 플랫폼 운영을 위한 소프트웨어
	수직 통합 네트워크 및 애플리케이션 구축을 위한 소프트웨어 및 하드웨어
	MEC 소프트웨어 및 하드웨어

출처: 스콜코보 과학기술연구원, HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

현재 5G 서비스는 전 세계 72개국에서 이미 시작했으며¹¹, 137개국에서 460개 이상의 기업이 시범 개발에 투자하고, 테스트 출시를 수행 중이다¹². 또한 경제 및 사회 부문의 4G 및 5G 네트워크 애플리케이션 수도 증가하고 있다. 동 분야의 연구개발 역시 5G 기술 성숙도의 수준이 높아짐에 따라 더욱 활발해지고 있다. 많은 국가에서는 5G 통신 네트워크에 기반한 서비스의 개발을 위하여 이미 연구 센터 및 산업용 시험장들을 설립하였거나 현재 설립 중에 있다.

러시아는 현재 다르 선진국에 비해 5G 기술 기반 시제품 제작 및 특정 제품의 도입에 뒤쳐지고 있다. 그렇지만 그럼에도 불구하고 성공적이라고 여길 수 있는 러시아 국산 솔루션이 다수 존재하기도 한다. 그 첫째는 통신 사업자를 위한 소프트웨어 개발이다(트래픽 관리 및 밸런싱 시스템, 청구 시스템 및 기타 작업 관련 디지털 서비스와 플랫폼).

2021년, 로스텔레콤(Rostelecom)과 모스크바시정부는 로드맵 구현의 일환으로 5G 기술 개발을 위한 협력 협정에 서명하였다. 이 시행 과정에서 5세대 통신 네트워크 인프라에 기초한 의료 부문 디지털 프로젝트를 시험하기 위한 러시아 최초의 시험장이 보트킨 종합병원에 설립되었다. 여기서 5G 네트워크를 기반으로 하는 혁신적인 의료 솔루션의 시제품 및 샘플에 대한 응용 연구 및 테스트가 수행될 예정이다. 이를 통해 스타트업들은 실제 임상 환경에서 5G 기술을 사용한 개발품을 테스트할 수 있게 될 것이다.

5세대 통신 네트워크 및 이를 기반으로 하는 서비스의 구현은 기술 및 인프라에 대한 임무에서 국가 경제의 경쟁력을 제고하는 주요 요소로 승화하였다. 이미 5G를 구현하기 시작한 국가는 동 영역에서 근본적 기반을 마련하기 시작하였으며, 주력 제품 시장 점유율 및 기술 성숙도와 기술보급 두 가지 측면에서 모두 큰 우위를 차지하고 있다. 러시아에서 5G 네트워크 시행이 지연(2024년까지)되고 있음을 감안할 때, 이로 인해 형성된 시간적 격차는 5G 네트워크의 인프라 개발과 기반 서비스 준비 측면에서 모두 임계치에 도달할 우려가 있다.

¹¹ <https://gsacom.com/paper/5g-market-update-member-report-august-2021>

¹² Ibid.

국가 지원

외국의 관례를 보았을 때, 경제 및 사회 부문의 5G 구현을 위한 국가 지원 프로젝트의 시행은 일반적으로 새로운 서비스의 대대적인 상용화 이전에 이루어진다. 동 시점 이후부터는 민간 자금으로 지원되는 프로젝트가 더 많아지기 시작한다. 5G 서비스가 점점 더 보편화되면서, 다양한 산업 분야에서는 이를 도입하는 것을 장려하는 조치들이 활성화되고 있다.

중국에서는 14 차 사회경제 개발 5 개년 계획 (2021~2025 년)의 핵심 분야로 5G 네트워크 개발이 제시되었다. 특히 산업용 사물 인터넷, 인공지능, 지능형 운송 등의 개발을 위한 5G 네트워크 인프라 중심의 여러 국가 프로그램이 준비되었다. 2023 년 말까지의 목표 수치는 다음과 같다: 5G 모바일 보급률 - 40%; 5G 네트워크에서 모바일 트래픽 점유율 - 50%; 5G 를 사용하는 대기업 비율 - 35%, 사물 인터넷 사용자 수의 연간 성장률 - 200%; 10,000 명당 5G 기지국 수 - 18 개(예로, 2023 년 말까지 중국의 총 5G 기지국 수는 200 만 개를 돌파할 것임).

중국의 첨단 기술 생산 부문에 대한 5G 의 기여도는 전년 대비 47% 이상 증가했다. 에너지, 광업, 운송, 보건 및 교육을 비롯한 22 개 경제 부문에서 5G 기술 적용의 사례는 10,000 건 이상이다. 5G 네트워크 및 이를 기반으로 한 산업 서비스의 개발에 대한 투자 규모는 2025 년까지 미화 2,150 억 달러, 2020~2030 년에 미화 4,000 억 달러 이상에 이를 전망이다. 5G 응용산업발전(5GAIA)은 5G 서비스 개발 및 구현에 대한 지원을 제공한다.

유럽 연합의 경우는 다양한 경제 영역에서 5G 네트워크 및 이를 기반으로 한 디지털 서비스의 도입과 관련한 문제를 별도의 글로벌 파트너십 프로젝트인 5G PPP(5G 인프라 퍼블릭 프라이빗 파트너십)에서 다루도록 했다. 유럽연합 집행위원회가 주요 유럽 기업과 함께 추진하고 있는 5G PPP 프로젝트의 총 자금 조달 규모는 약 42 억 유로이다. 유럽의 5G 산업접속 및 자동화 동맹 (Alliance for Connected Industries and Automation(5G-ACIA)) 은 산업에 5G 기술 도입을 제공하는데 자동차 산업이 그 좋은 예이다. 또한 디지털 유럽 프로그램(Digital Europe Program), 유럽 연결 프로젝트 (Connecting Europe Facility, 자금 조달 규모 20 억 유로¹³) 및 경제 회복 및 복원력 강화 지원(Recovery and Resilience Facility) 프로그램처럼 코로나 19 이후 경제를 회복하기 위한 EU 전략 프로그램이 있다.

셀룰러 통신 표준 분야에서 선도적 위치는 글로벌 컨소시엄인 3GPP 가 차지하고 있는데 그 다음으로는 3GPP 표준을 보완하는 OpenRAN 표준을 개발한 O-RAN Alliance 가 차지하고 있다. 한편 개방형 표준을 지원하는 하드웨어와 소프트웨어를 사용하도록 장려하는 기관인 텔레콤 인프라 프로젝트(Telecom Infra Project, TIP) 컨소시엄은 국제적으로 점점 더 영향력이 커지고 있다. TIP 는 전 세계에서 인증된 OpenRAN 솔루션을 제공하기 위한 국제 시장을 조성하였다.

러시아의 경우도 5G 는 기술 개발 분야에서 우선 지원 분야에 속한다. 러시아의 5세대 모바일 네트워크 기술 로드맵의 활동은 다음과 같은 문제를 해결하는 것을 목표로 하고 있다:

- 5G 통신 네트워크용 첨단 통신 제품을 개발하기 위한 종합적인 프로젝트 구현
- 5G 통신 네트워크용 러시아 국내 제품 개발 및 이러한 제품의 러시아 및 해외 시장판매 장려, 산업 규제 개발
- 5G 구현을 위한 전환 작업 및 무선 주파수 할당과 5세대 통신 네트워크 도입을 위한 무선 주파수 지원
- 통신 사업자 활동을 촉진하고, 5G 네트워크 개발을 위한 법적 환경을 조성하며, 5G 표준 통신 네트워크 시범 구역을 구현하는 등 5세대 통신 네트워크 인프라의 개발
- 5G 기술을 사용해 제공되는 서비스 및 서비스 시장의 개발을 효과적으로 관리하기 위한 시스템 구축
- 5G 솔루션 시범 추진 및 디지털 솔루션의 시범구역 조성 등 비롯하여 5G 기술을 사용한 디지털 서비스와 솔루션의 개발 촉진

구성된 체계적인 접근 방식은 필수 연구개발을 관리하고, 새로운 교육 프로그램과 인적 자원 개발에 필요한 새로운 조치를 취하는 등 이동통신 분야 러시아의 솔루션 시장을 발전시키고 촉진하는데 도움이 될 것이다. 가까운 시일 내에는 5G 통신 네트워크용 솔루션을 개발하기 위해 진행 중인 복합 프로젝트에 따라 Spektr LTD 를 기반으로 하는 러시아 장비 제조업체간 기술 및 생산 협력체를 구축하는 것이 계획되어 있다. 동 협력체는 곧 생산 시설의 필요성을 확정해 러시아에 새로운 시설이 필요하지를 결정할 것이다.

¹³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_1109

2019 년 1 월에는 5 세대 모바일 네트워크 분야의 통합 솔루션을 만들기 위해 러시아 국내 기업간 컨소시엄인 5G 컨소시엄이 구성되었다. 여기에는 OpenRAN 패러다임에서 5G 기지국 개발에 대한 선도 연구 센터(LRC) 활동 프로그램 중 국가

지원금에 의한 작업도 포함되어 있다. 5G 컨소시엄은 복합 솔루션의 개별 요소인 OpenRAN 아키텍처가 있는 4G/5G 기지국을 개발하고 있다.

발전 전망

오늘날 세계 5G 분야의 많은 개발품들은 높은 수준의 배치 준비 단계에 있으며, 5 세대 통신 네트워크를 구축하기 위한 모든 장비의 대규모 생산체계가 갖추어져 있다. 앞으로 선진국 및 연구 센터는 5G 분야에서 디지털 플랫폼 및 산업 서비스는 물론 차세대 이동통신 네트워크를 위한 솔루션을 구축하는 데 주로 집중할 것이다. 또한, 이미 시작된 5G+/6G 기술의 개발은 5 세대 통신 네트워크 개발 시 축적된 기반과 역량을 바탕으로 하고 있다.

선진국들(중국, 미국, 한국, 일본, EU 국가, 인도 등)은 중요 5G 정보 인프라 구축을 위한 자체 장비를 적극적으로 개발하고 있으며 광범위한 응용을 위한 디지털 플랫폼 및 산업 서비스를 개발하고 있다. 5G 기술의 산업 적용은 의료, 고 정밀 제조, 운송 등 새로운 사용 사례로 확산되는 데 박차를 가하고 있다. 동 분야의 자체 개발은 국가 안보와 사회 경제적 발전의 일차적인 이유로 필요하다.

오늘날 이동통신 장비 시장은 화웨이, 에릭슨, 노키아, ZTE, 및 삼성 5 개 기업이 장악하고 있다. 이러한 선도 기업은 5G 연구개발의 고급 역량을 통합해 95% 이상의 시장 점유율을 차지하고 있다. 미국과 다수의 다른 국가들이 시장에서 중국 기업에 대한 대체 정책을 지속적으로 펼친 결과, 러시아 국내 사업자를 위한 5G 장비 공급업체의 선택폭은 더욱 좁아지고 있다. 이는 소수 대형 제조업체에 대한 의존도를 높여, 장비 비용을 증가시키는 결과를 초래했다.

국제 기술 에코시스템을 포함한 지주, 기업 또는 개인간 협력의 틀 속에서 개발의 표준화 및 통합작업을 추진하는 것은 새로운 참가자의 진입에 대한 장벽을 낮춰준다. 여러 기업이 힘을 모아 컨소시엄을 구성하면 시장 참가자들의 기존 힘을 조정하고, 제안된 솔루션의 다양성을 보장할 수 있다. 국가 및 초 국가 단계에서 가장 보편적이고 유력한 협력 형태는 산업 고객, 장비, 제조업체, 통신사 및 기타 시장 참가자를 통합하는 동맹, 공동 이니셔티브 및 컨소시엄 등이다.

거의 대부분의 선진국은 5G 기술을 기반으로 하는 디지털 플랫폼 및 서비스 분야에서 전 범위의 솔루션과 장비 개발을 촉진하기 위해 R&D 자금 조달에서부터 필수 무선 주파수 자원 할당, 경제 부문에서 디지털 플랫폼 및 서비스 구현에 이르기까지 광범위한 조직적 지원 메커니즘을 활용하고 있다.

기초 및 응용 연구 분야 기반 측면에서 볼 때, 러시아는 5G 분야에서 충분히 높은 잠재력을 가진 국가로 분류될 수 있다. 러시아는 2022 년~2023 년을 기술 성숙도 마감 기한으로 정한 5G 종합 솔루션(이미 주 정부에서 개시 및 지원 중임)의 개별 요소 들에 대한 개발이 진행되고 있으며, 이는 늦어진 개발 착수로 인한 격차를 줄일 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고 현재 러시아는 기본 5G 기술 개발 수준 측면에서 세계 선진국들에 비해 3~5 년 정도 뒤쳐져 있으며 이는 세계적으로 다소 저조한 수준이다.

또한 디지털 플랫폼 및 서비스의 상용화와 필수 무선 주파수 자원 할당, 5G 네트워크 인프라 배치에도 어느 정도 지연이 발생하고 있다. 이와 관련하여 단계적으로 기업 및 대도시를 기반으로 시험장 조성을 장려하고 자금 조달을 시작하는 것이 권장된다. 동 조치는 주요 산업 시설 운영에 필요한 기존 국내 디지털 플랫폼 및 산업 서비스를 형성할 뿐만 아니라, 러시아에 마침내 5G 가 출시될 때 100 만 명 이상의 인구를 보유한 도시(최소 600MHz 범위에서 최대 600MHz)에 대한 주파수 부족을 보충해 줄 수 있을 것이다.

현재 러시아의 5G 개발 계획은 과학 연구센터, 제조업, 금융계 그리고 선도 대학이 연합한 컨소시엄을 기반으로 하고 있는데, 이는 세계적 관행과 일치하긴 하지만 러시아의 경우 동 컨소시엄의 효율성을 개선하는 초점을 맞추는 것이 필요하다.

러시아는 통신 사업자급 모바일 네트워크를 위한 통신 장비 시장의 규모가 꽤 크기 때문에, 국내 기업에서 자체 기술 솔루션을 개발하는 것은 충분히 일리가 있다. 그렇지만 러시아에서 개발된 5G 통신 네트워크용 제품이 상업적으로 성공하기 위해서는 수출의 확대가 필요하다. 이 경우 경쟁 공모를 기반으로 국내 제품을 개발하게 되면 글로벌 시장 진입에 필요한 충분한 수준의 효율성을 달성하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

양자 컴퓨팅



약어

IA&E SB RAS	러시아 과학 아카데미 시베리아 분원의 자동화 및 전기 측량 연구소
IAP RAS	러시아 과학 아카데미 응용물리학 연구소
ISAN	러시아 과학 아카데미 분광학 연구소
IT	정보기술
Landau Institute	러시아 과학 아카데미 L. D. Landau 이론 물리학 연구소
IPM RAS	러시아 과학 아카데미 미세조직 물리학 연구소
ISP SB RAS	러시아 과학 아카데미 시베리아 분원 Rzhanov 반도체 물리학 연구소
IPP RAS	러시아 과학 아카데미 P. L. Kapitza 물리학 문제 연구소
ISSP RAS	러시아 과학 아카데미 Osipyan 고체 물리학 연구소
LRC	선도 연구 센터
PDMI RAS	러시아 과학 아카데미 V. A. Steklov 수학 연구소
SW	소프트웨어
RQC	러시아 양자 센터
러시아 과학 아카데미 P. N. Lebedev 물리학 연구소	러시아 과학 아카데미 P. N. Lebedev 물리학 연구소
Ioffe 연구소	러시아 과학 아카데미 Ioffe 물리 기술 연구소
Valiev IPT RAS	러시아 과학 아카데미 Valiev 물리 기술 연구소
MSU 양자 기술 센터	로마노소프 모스크바 국립대학 양자 기술 센터
AQ	알고리즘 큐비트

20세기 말부터 세계는 모든 활동 분야에 큰 영향을 줄 수 있는 “2차 양자 혁명”의 문턱에 서 있다. 이것이 기술과 관련 장비가 집단 양자 현상의 제어를 기반으로 했던 “1차 양자 혁명”과 비교하여 갖는 주요 차이점은 원자 및 광자와 같은 개별 입자 수준에서 복잡한 양자 시스템을 제어할 수 있는 능력이다. 개별 양자 물체에 대한 이러한 높은 수준의 제어를 기반으로 한 기술을 보편적으로 “양자 기술”이라고 한다.

국가 안보 및 의료, 공공 행정 및 정보 기술을 비롯한 주요 사회·경제 부문에서 국가안보와 디지털 성숙도를 달성하기 위한 전략적 중요성으로 인하여 이러한 기술의 주요 잠재적 소비자는 바로 정부이다.

21세기 국가의 경쟁력과 안보는 양자 컴퓨팅 기술 숙달 수준에 크게 좌우될 것이다. 2025년~2030년, 양자 컴퓨터의 대규모 도입이 예측되는 시대에는 양자 기술을 외면한 국가의 기술 주도권은 불가능할 것으로 보인다.

로스아톰 (Rosatom State Corporation)과 러시아 연방정부는 러시아의 양자 컴퓨팅 첨단 기술 분야 발전을 위한 **협력의향서**를 체결하였다. 동 **협력의향서**에 따라 관련 로드맵¹이 개발되었으며, 2024년까지 이에 따른 조치가 시행될 예정이다. 이 로드맵은 양자 컴퓨팅 분야의 프로젝트 연구개발에 유리한 여건을 조성하고, 이에 필요한 과학 및 기술적 에코시스템을 구축하며, 양자 산업에 역량을 갖춘 인력을 제공하는 것을 내용으로 담고 있다.

양자 컴퓨팅이란?

양자 컴퓨팅은 양자 역학의 법칙에 입각한 새로운 분류의 컴퓨팅 장치를 사용하는 양자 기술의 한 방향이다. 예측에 따르면, 양자 원리를 기반으로 구성된 컴퓨터는 우선 계산 속도가 매우 빠르고, 일부 컴퓨팅 문제를 해결하는데 이전에는 사용할 수 없었던 양자 역학 현상을 응용할 수 있게 되어 많은 분야에서 기존 컴퓨터보다 많은 더욱 효과적인 것이다.

양자 컴퓨팅에 대한 관심은 꾸준히 증가하고 있다. 동 분야에 대한 연구는 약 20년 전에 활발해지기 시작하였으며, 몇 년이 지나자 이 분야의 특허 출원 건수가 크게 증가하기 시작하였다. 2015년 이후로 해당 건수는 주로 중국과 미국의 주도로 연간 15~20%씩 증가하였다. 또 벤처 시장에서의 상거래 수 및 규모도 증가했으며 2018년~2020년에는 많은 국가들이 양자 산업을 발전시키기 위한 특별 금융을 출범하고 관련 법률을 도입하였다. 현재 양자 기술 개발에 대한 선진국의 투자는 수십억 달러에 이르고 있다.

현재 양자 컴퓨팅의 실현에 가장 유망하다고 간주되는 플랫폼은 초전도 큐비트, 중성원자, 이온 포획, 광자 칩 등이다. 전문가들은 각기 다른 기술 솔루션에 대해 모호한 평가를 내리고 있기 때문에 현재로서는 동 분야 어떤 기술이 가장 유망한 것인지 판단하기가 불가능하다.

양자 산업의 발전은 정부 프로그램과 더불어 Google, IBM, Microsoft, Honeywell 과 같은 주요 글로벌 기업의 투자로 촉진되고 있다. 경제 분석가들은 민간 투자 규모의 증가, 특히 그 중 2/3 가량이 2018년 이후에 이루어진 것에 대해 상당히 주목하고 있다. 2021년에는 최초의 양자 스타트업 2곳이 미화 시가 총액으로 10억 달러 넘기며 상장하였다. 양자 분야 최초의 유니콘 기업은 미국의 스타트업인 아이온큐(IonQ)로, 이온 플랫폼에서 양자 프로세서를 생산하는 기업이다. 이 회사의 총 자산 가치는 미화 20억 달러로 추정된다. 보안 위성 통신 시스템을 개발하는 영국의 스타트업 아르킷(Arquit)은 미화 14억 달러의 자본금을 달성했다.

2020년의 데이터에 따르면 포춘지 선정 대기업의 4%는 이미 양자 컴퓨팅 연구를 시작했으며, 35%는 그 가능성을 모색하고 있다. 향후 3년 안에 동 비율은 13%와 68%로 각각 늘어날 것이다². 양자 컴퓨팅 분야 실험 프로젝트의 28%는 재무 및 투자 분야에 속해 있고 16%는 에너지 및 신소재 분야에, 9%는 화학 및 제약 산업에서 시현되고 있다.

¹ 양자 컴퓨팅 기술 로드맵(Technology Roadmap of Quantum Computing)은 삶의 질 및 비즈니스 환경 개선을 위한 정보 기술 사용(2020년 7월 31일자 제 14호, 2021년 7월 20일자 제 24호)에 게재된 디지털 개발 정부 위원회 상임 회의록에서 승인됨.(업데이트 버전: 2021년).

2019년 7월 8일자 러시아 정부 행정명령 제 1484-r 호에 따라 양자 컴퓨팅을 개발하기 위해 체결된 2019년 7월 10일자 러시아 정부와 로스아톰 사이 체결된 협정의향서를 이행하기 위한 주요 메커니즘임.

양자 컴퓨팅의 글로벌 시장은 현재 형성 단계에 있다. 2020 년도 그 시장 규모는 미화 3,800 만 달러³~ 3 억 2,000 만 달러로 추정되고 있다.⁴ 양자 컴퓨팅 시장은 향후 5 년 동안 미화 10 억~20 억 달러 규모에 이를 것으로 예상되며⁵ 이후 15~30 년 이후에는 미화 4,500 억 달러~8,500 억 달러 규모로 성장할 잠재력이 있다⁶.

2015 년~2016 년, 빅테크 기업들이 연구에 참여하면서 양자 컴퓨터의 인기가 급상승하게 되었다. 2013 년 이후 양자 컴퓨터 및 컴퓨팅 분야 발표논문 수는 매년 평균 10%씩 증가하였다 (그림 1).

그림 1. 간행물 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

² https://www.dwavesys.com/sites/default/files/10962_Advisory_BW_D-wave%20R2.pdf

³ http://www.yole.fr/Quantum_Technologies_Market_Update_2021.aspx

⁴ <https://hyperionresearch.com/product/key-takeaways-from-qc-market-study-global-quantum-computing-market-projected-to-grow-to-over-800-million-by-2024/>

⁵ <https://www.reportlinker.com/p05064748/Quantum-Computing-Market-by-Revenue-Source-Application-Simulation-Optimization-and-Sampling-Industry-Defense-Banking-Finance-Energy-Power-Chemicals-and-Healthcare-Pharmaceuticals-and-Geography-Global-Fore-cast-to.html>

⁶ <https://www.bcg.com/publications/2021/building-quantum-advantage>

중국, 미국, 독일은 수행한 연구 수(출판물의 약 2/3 을 차지함)와 해당 연구의 인용 건수(세계적으로 80% 이상) 측면에서 세계를 선도하고 있다. 전 세계적으로 양자 시스템, 양자 컴퓨터 및 컴퓨팅 분야에서 과학 논문(학술지 논문, 단행본, 컨퍼런스 초록)의 수는 2000 년~2020 년 동안 10 만 편 이상 출판되었다.

연간 출판물 수는 2000 년의 1,300 건에서 2020 년 7,000 건으로 증가했으며 해당 주제에 대한 러시아 발행 과학 논문의 비중은 4% 이상을 차지하였다.

지난 10 년간 양자 컴퓨터 및 컴퓨팅 분야에 대한 특허 출원건수는 전 세계적으로 약 10,000 건 이상 되었다(그림 2).

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

특허 출원 빈도는 2015 년~2016 년에 급격히 증가했다(연간 30% 이상). 2017 년~2019 년 선진국인 중국과 미국은 전 세계 총 특허 출원 수의 80%를 기록했다. 러시아는 2017 년~2019 년 특허 활동 면에서 상위 10 개 국가(8 위)에 들었으며 프랑스나 스위스를 앞섰다.

양자 기술의 개발은 적절한 실험 인프라(클린룸, 극저온 및 진공 구역, 리소그래피 시설)가 갖춰져야만 가능하다. 필수적인 조건은 양자 장치를 제작하기 위한 모든 범위의 과학 연구 및 기술 작업의 수행이 가능하도록 특화된 과학-기술 센터를 설립하는 것이다.

대부분의 기술 선진국은 양자 센터와 컨소시엄을 이미 설립한 상태이다. 러시아는 2020 년 과학 기술 컨소시엄인 국립 양자 연구소(National Quantum Laboratory)를 설립하기 위한 협정에 서명했다. 이 새로운 제휴는 대학, 연구센터, 개발팀, 스타트업, 기술기업 및 금융기관의 역량을 모으고 국내 양자 에코시스템의 기반이 될 것이다.

기술

기술적으로 양자 컴퓨터와 양자 시뮬레이터는 각기 장점과 단점을 가지는 서로 다른 물리적 플랫폼에 기초하여 구축할 수 있다(그림 3). 가장 일반적인 플랫폼은 중성원자, 이온, 광자 칩을 기반으로 하는 초전도 플랫폼이다. 이와는 별도로 반도체 내 스핀, 핵자기 공명, 마그논, 폴라리톤, 하이브리드 시스템을 기반으로 한 대체 플랫폼도 개발 중이다.

또한, 양자 컴퓨팅을 위한 완전한 소프트웨어 스택을 개발하기 위한 기술에 관심을 기울여야 한다(운영 체제, 컴파일러, 응용 알고리즘 라이브러리). 양자 프로세서는 기존 전통적인 프로세서와 근본적으로 다르게 작동하기 때문에 양자 컴퓨터 프로그래밍에 대한 접근 방식도 달라져야 한다.

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조



출처: 로스아톰(Rosatom State Corporation), HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

IBM, Google, Rigetti, Intel, 알리바바 등 기업에서는 초전도 양자 컴퓨터를 개발 중인데, 장점은 우수한 확장성, 시간의 안정성, 상대적으로 용이한 제어 등이며, 단점은 초저온이 필요하다는 것과 결맞음이 낮다는 것이다.

이온 포획 양자 컴퓨터는 Honeywell, IonQ, AQT 에서 사용하고 있다. 현재까지 운영 안정성과 정확성이 가장 높다는 것이 장점이다. 그러나 양자 레지스터의 최대 크기에 대한 기술적 한계성이 단점으로 간주되고 있다.

중성원자 양자 컴퓨터는 프랑스 기업인 Pasqal, 하버드 대학교, 파리-사클레 대학교이 개발하고 있다. 이는 확장을 용이하게 하지만 큐비트 관리 측면에서 매우 복잡하다.

광양자 컴퓨터는 Xanadu, Quix, Psi Quantum 과 같은 기업에서 사용하고 있다. 크기가 작고, 실온에서 작동 가능하며, 광섬유 라인과 쉽게 인터페이스할 수 있다는 점이 장점이다. 그러나 광자의 약한 상호작용 때문에 논리회로를 구현하기가 어렵다는 단점이 있다.

지난 몇 년간 선도 기업들은 양자 컴퓨팅 분야에서 수많은 획기적 프로젝트를 구현한 바 있다.

IBM 과 Google 은 2029 년~2030 년까지 초전도 양자 컴퓨터를 개발할 계획이라고 발표한 바 있는데 여기에는 수백만 물리 큐비트 규모의 양자 시스템이 요구된다.

최근까지 IBM 의 가장 강력한 양자 컴퓨터는 2020 년에 소개한 65 큐비트의 퀴텀 허밍버드(Quantum Hummingbird)였는데, 2021 년 11 월, IBM 은 더 강력한 양자 컴퓨터인 127 물리 큐비트의 퀴텀 이글(Quantum Eagle)을 새로 공개했다⁷. IBM 은 2022 년에 433 큐비트의 오스프리(Osprey) 컴퓨터를, 2023 년에는 1,121 큐비트의 콘도르(Condor) 컴퓨터를 발표할 예정이다.⁸

Google 은 53 큐비트의 Sycamore 양자 컴퓨터를 공개한 바 있고 2019 년에 100 큐비트의 새로운 컴퓨터를 발표했다. Google 은 2025 년 10,000 큐비트의 모듈을 계획하고 있으며 이는 2029 년 공개 예정인 100 만 물리 큐비트를 갖춘 양자 컴퓨터의 기반이 될 것이다⁹

이온 포획 양자 컴퓨터를 생산하는 IonQ 는 알고리즘 큐비트(AQ)라는 지표로 자체 시스템의 성능을 계산하고 있다. 32 물리 큐비트의 가장 강력한 이온 포획 양자 컴퓨터는 AQ 가 22 이다.

동 기업은 2024 년까지 AQ 가 35 인 시스템을 제작할 계획이며 2026 년부터는 AQ 1,024 까지 시스템을 확장하기 시작할 것이다(2028).¹⁰

가장 규모가 큰 중성원자 양자 컴퓨터는 프랑스 기업인 Pasqal 이 제작하였다. 현 수준은 원자 100 단위 개이지만 가까운 미래에 원자 단위 200 개까지 확장할 것으로 예상된다. 원자 단위가 196 개와 256 개로 구성된 가장 강력한 시스템은 이미 파리-사클레 및 하버드 대학교 연구소에서 각각 가동 중에 있다.

광양자 컴퓨터 중 가장 강력한 시스템은 캐나다의 스타트업 Xanadu 와 네덜란드의 Quix 가 개발한 12 큐비트에 해당하는 시스템이다.

서로 다른 기술군을 사용해 구축된 기존의 양자 컴퓨팅 장치는 성능 면에서 기본적으로 서로 다르지 않으며, 실질적으로 같은 개발 단계에 있다(그림 4). 예를 들면, 초전도 컴퓨터는 큐비트의 수 측면에서 이온컴퓨터보다 높지만, 이온 컴퓨터는 더 높은 품질(오류율이 낮음)로 낮은 큐비트가 수가 낮은 것을 보상한다. 어떤 분야에서 기술 혁신이 출현할 지 예측할 수 없기 때문에 대부분의 국가에서는 모든 기술군에 대한 연구개발을 병렬적으로 수행하고 있다. 대부분의 IT 대기업에서는 초전도 컴퓨터 제작에 주력하고 있다.

벤처 자금 투자 측면으로 보면 현재의 선두 분야는 광양자 컴퓨팅(36%)이고 초전도(24%), 이온 포획 및 중성원자 컴퓨터(각각 9% 및 1%)가 그 뒤를 잇고 있다.¹¹ 광양자 컴퓨터는 출판물 수(2020 년 총 출판물 수의 10% 차지)와 특허 출원 건수(2019 년 총 수의 20% 차지)에서도 선두를 달리고 있다.

상기 열거한 기술 군 중 현재 기존 컴퓨팅 시스템보다 우위를 보장하는 요건을 만족하는 것은 아직 없다. 전문가의 의견에 따르면 모든 양자 컴퓨터 기술은 현재 개발 초기 단계(기술 성숙도 곡선의 하층부인 기술의 등장 부분)에 있다. 동 단계의 특징은 연구개발 비용이 많이 들지만, 실질적인 수익은 아직 낮다. 이 단계는 새로운 기술과 이 기술을 생산에 구현하는 방법을 이수하는 연구개발 기간이다. 다양한 기술군이 동시에 개발되고 있음에 따라 분야간 개발정도에 차이가 식별되고, 가장 앞서는 솔루션이 생기면 자원을 적절하게 재분배할 수 있을 것이다. 이러한 개발 수정과정은 향후 몇 년 동안 러시아에서도 로드맵 이행 중에 발생할 수 있을 것이다.

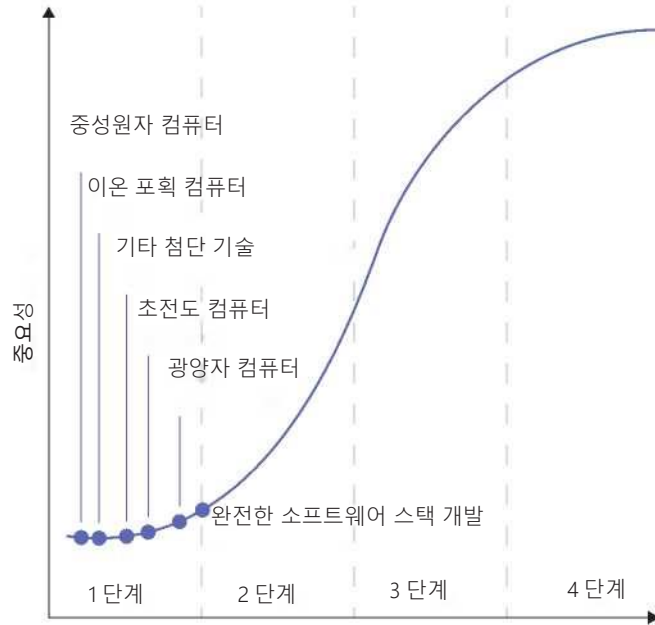
⁷ <https://www.ibm.com/blogs/research/2020/09/ibm-quantum-roadmap/>

⁸ <https://www.cnet.com/news/quantum-computer-makers-like-their-odds-for-big-progress-soon/>

⁹ <https://static1.squarespace.com/static/5e33152a051d2e7588f7571c/t/60459578b8c075444a656357/1615173012167/IonQ+Investor+Presentation+030721+vFF.pdf>

¹⁰ https://www.researchgate.net/publication/350453567_Quantum_Technologies_Patents_Publications_Investissements_Landscape

그림 4. 기술 성숙도 곡선



출처: 로스아톰(Rosatom State Corporation), HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

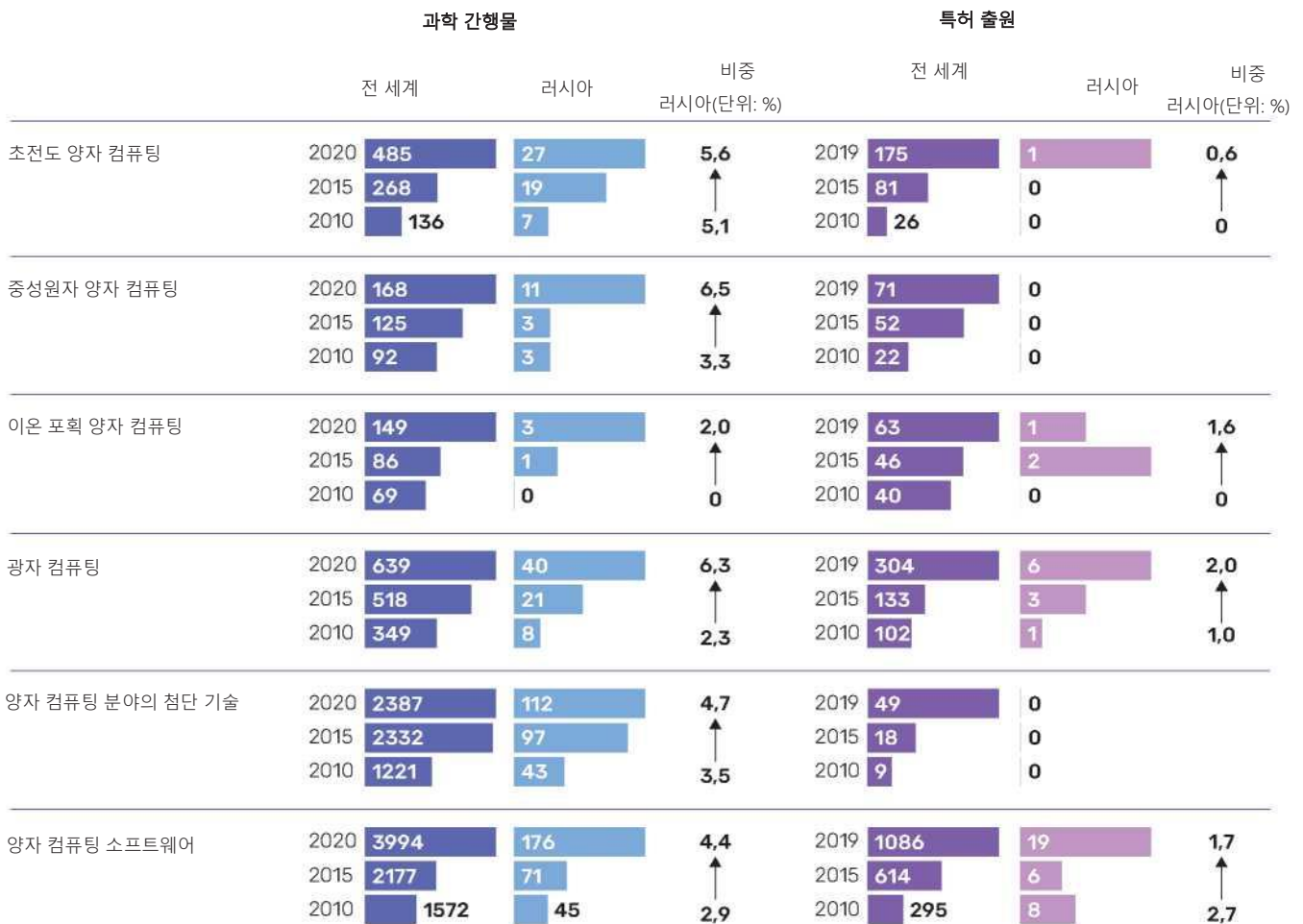
방법론. 중요성은 기술 성숙도 수준을 특징 지으며, 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)에서 지정된 기간 내의 기술에 대한 표준화된 언급을 반영한다. 연구개발의 집중도에 따른 4 단계는 다음과 같다.

- 1 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- 2 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- 3 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- 4 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

이와 같은 결론은 기술 군별 특허출원 및 논문 발간 활동에 대한 분석을 통해서도 동일하게 내릴 수 있다(그림 5). 4 가지 플랫폼 모두에 대한 기초 및 응용 연구는 거의 동등한 집중도로 수행되고 있다. 광양자 컴퓨터는 출판물 및 특허 활동 건수 측면에서 다른 기술 군보다 다소 앞서 있는데 이는 세계 추세와 러시아의 추세가 일치한다. 2019 년 동 분야의 특허 출원 건수는 나머지 세 플랫폼의 총 특허 출원 건수의 총합과 거의 동일하다. 또 모든 기술군에서 특허 출원의 건수는 상당히 활발하게 증가하고 있다 (2015 년~ 2019 년, 1.5~2 배).

양자 컴퓨팅 분야에서 세계 선진국과 러시아의 기술 격차는 약 7~10 년으로 추정되고 있다. 글로벌 시장은 특정 기술군에서 고르지 않게 발전하고 있으며, 현재 상대적인 추이를 예측하기가 극히 어려운 상태이다. 이는 미래에 격차를 보완할 기회가 될 수도 있을 것이다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 활동 주요지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

러시아는 양자 기술 분야의 연구개발을 강화하기 위해 상당한 노력을 기울이고 있다. 이러한 작업은 모든 기술군에서 수행되고 있으며, 러시아 과학 아카데미의 연구 조직들의 활동으로 널리 대표된다. 양자 컴퓨팅과 관련한 러시아내 주요 역량 센터는 러시아 양자 센터, 로모노소프 모스크바 국립 대학교의 양자 기술 센터, 모스크바 국립 대학교의 국립 기술 이니셔티브(NTI) 센터, Dukhov 자동화 연구소(FSUE VNIIA), MIET, PDMI RAS, LPI RAS, Valiev IPT RAS, IA&E SB RAS, IAP RAS(및 그 분원인 IPM RAS), ISAN, Landau 연구소, Rzhanov ISP SB RAS, P. L. Kapitza IPP RAS, ISSP RAS, KNRTU-KAI, KFTI, KFU, MPG, Bauman 공대, MIPT, MISIS, NSTU, Skoltech, ITMO 대학교, Ioffe 연구소 등이다.

로드맵은 러시아의 과학 및 비즈니스 대표들의 참여와 최고의 세계적 사례를 고려해 개발되었다. 제작 중인 러시아 양자 컴퓨팅 아키텍처의 경쟁적 우위는 바로 그 다양성에 있으며, 모든 핵심 기술 플랫폼을 기반으로 한 양자 컴퓨터의 개발이 구상 중에 있다. 이는 양자 애플리케이션을 개발하고 최적화 문제를 해결하기 위한 툴 패키지의 호환성을 보장하는 단일 개념 내에서 제작되고 있다. 따라서 로드맵은 러시아의 양자 컴퓨팅 개발의 기반을 형성하고, 연구에 유리한 조건을 조성하는 데 기여하며, 향후 10 년 동안 최적의 기술 개발 시나리오를 선택할 수 있게 해줄 것이다.

2021년 국영기업 로스아톰이 추진하고 있는 로드맵의 일환으로 러시아 양자 센터와 러시아 과학 아카데미 P. N. Lebedev 물리학 연구소의 과학자들은 4 큐비트 이온 포획 양자 컴퓨터의 시제품을 개발하였다. 러시아에서는 최초로 큐디트 상태를 사용하는 4개 이온 큐비트 컴퓨터에서 양자 연산이 시연되었다; 이 4 큐비트 시스템은 이온 수를 늘리지 않고 다단계 정보 캐리어를 사용해 양자 프로세스를 확장하는 원천 기술인 큐디트를 사용해 개발되었다.¹² 러시아의 물리학자들은 4 큐비트와 완전히 동일한 2 큐비트 시스템을 구축하였다. 실험 중 연구진은 2개의 이온을 진공 챔버에 묶은 후 레이저를 사용해 한 세트의 큐디트 연산을 수행하고, 큐디트 안에서 2 큐비트 연산 및 입자 얽힘 (Mølmer-Sørensen) 연산을 수행하였다. 이것으로 kukwarts 에 연결된 큐비트 사이 연산은 개별 입자에서의 연산보다 우수하다는 것을 보여 줄 수 있었으며, 이는 미래에 양자 알고리즘 구현을 더욱 효율적으로 수행할 수 있게 해줄 것이다.

¹² 3개(kutrites) 또는 4개(kukwarts)와 같이 동시에 여러 상태에 있을 수 있는 확장된 큐비트 버전임.

제품 및 시장

모든 시장 참가자는 시장에서의 양자 컴퓨팅 제품 및 제공 서비스의 역할에 따라, 대략 다음 4 가지 범주로 나눌 수 있다:

- 하드웨어 솔루션 개발업체(Intel 및 IonQ, QuTech, PsiQuantum, AQT, Pasqal 등의 스타트업 및 소규모 기업)
- 컨설팅부터 특수 하드웨어 및 소프트웨어 시스템 개발에 이르기까지 광범위한 서비스를 제공하는 서비스 기업(Silicon Quantum Computing, PsiQ, QuantikaQ-TRL, Qindom 등)
- 플랫폼 기업(거대 IT 기업인 IBM, Google, 알리바바, Honeywell, Microsoft, Amazon 과 대규모 자금 투자를 이미 유치 스타트업 기업인 Rigetti, Xanadu, D-Wave 등).
- 소프트웨어 솔루션 개발업체(Zapata Computing, Cambridge Quantum Computing, QC Ware, 1Qbit 등)

양자 컴퓨팅은 그 기술 성숙도가 아직 낮기 때문에 관련 시장도 아직 형성 단계에 있으며 제품과 기술 사이의 경계가 다소 모호하다. 주력 제품에는 각 기술 플랫폼을 기반으로 한 양자 컴퓨터, 클라우드 액세스 시스템, 애플리케이션 소프트웨어가 포함된다.

최종 양자 장치. 양자 컴퓨터는 지금까지 주로 실험실 조건(낮은 온도, 매우 높은 진공 상태 등)에서 작동하는 복잡한 기술 시스템이다. 따라서 지금은 상당히 단순한 장치가 판매되고 있다. 예를 들면 네덜란드의 스타트업인 Quix 와 QuantWare 는 상대적으로 정교하지 않은 양자 컴퓨터를 판매하며, 중국 기업인 SpinQ 는 단순한 2 큐비트 양자 컴퓨터를 제공하고 있다. 추가적인 기술 개발은 가까운 장래에 상용화된 시스템으로 이어질 것으로 예측되고 있으며, 최종 양자 장치 시장은 2030 년에 미화 10 억~20 억 달러 규모를 달성하고, 향후 10 년 후에는 미화 150 억~300 억 달러, 그리고 2040 년 이후에는 미화 900 억 달러에서 1,700 억 달러 규모에 이를 것으로 전망된다 (보스턴 컨설팅그룹 추정).

서비스로서의 양자 클라우드 컴퓨팅. 가까운 미래까지는 양자 컴퓨팅을 위한 최종 장치의 판매 규모가 상대적으로 작고, 반면 클라우드 컴퓨팅 액세스 서비스의 시장 점유율이 상당할 것으로 예상된다. 현재 양자 클라우드 서비스 제공업체는 IBM, Amazon, Microsoft 를 비롯해 약 6 개 정도의 기업이다. 현재 시장은 그 초기 단계에 있다: 2020 년 현재, 시장 규모는 컨설팅 서비스를

포함해도 미화 5,000 만 달러를 초과하지 않았으며 대부분의 경우 서비스에 대한 테스트 접속은 무료이다. 퀀텀 인사이더(Quantum Insider)지에 따르면 향후 1.5 년 동안 대기업의 양자 컴퓨팅에 대한 수요는 급증하여 연간 시장 성장률이 80%를 달성할 것으로 전망한다. 시장 분석가들은 10 년 후 시장 규모가 거의 미화 260 억 달러에 달할 것으로 추정하고 있다.¹³ 세계의 선두기업으로는 미국의 IBM(IBM Q Experience 플랫폼), Amazon(Amazon Braket 플랫폼), Microsoft(Microsoft Azure), Rigetti(Rigetti Forest), Google(Google Quantum Playground)과 캐나다의 D-Wave (D-Wave Leap) 및 Xanadu 등이 있다. 이들의 플랫폼 솔루션은 중국(바이두 Quantum Leaf)과 네덜란드(QuTech Quantum Inspire)에서 제작되었다. 러시아에서는 양자 컴퓨팅에 대한 2 개의 실험적 클라우드 서비스가 2021 년 러시아 양자 센터(RQC)와 로모노소프 모스크바 국립 대학교에 구축되었다.

양자 소프트웨어(SW). 양자 소프트웨어 플랫폼을 개발하는 기업의 수는 계속해서 빠르게 증가하고 있다 (Zapata Computing, Cambridge Quantum Computing, QC Ware, 1Qbit). 이러한 기업은 연구원들이 실제 양자 장치나 모사 장치를 사용할 수 있도록 지원하거나, 금융 분야와 같은 전문적인 분야의 문제를 해결할 수 있는 기회를 제공한다. 하이페리온(Hyperion)은 시스템 및 애플리케이션용 양자 소프트웨어의 시장 규모가 미화 9,000 만 달러이며, 2024 년에는 미화 1 억 4 천만 달러에 이를 것으로 추정하고 있다. 플랫폼 기업은 범용 양자 컴퓨팅을 위한 자체 컴파일러와 소프트웨어를 제공하는 경우를 자주 볼 수 있다(예: Rigetti 의 pyQuil, IBM 의 QISKit).

대부분의 국가에서 양자 컴퓨팅 분야에 대한 연구 자금은 주로 국가가 지원한다. 그렇지만 밝은 상용화 전망으로 인해 대규모 민간 IT 기업들(Google, Intel, Microsoft, IBM, Honeywell, Amazon, 알리바바, 바이두 등)도 역시 양자 컴퓨팅 연구개발에 대규모로 투자하고 있다. 이들 기업의 투자 연구금액은 정부 프로그램이 지원하는 자금규모와 수준이 비슷하거나, 이를 초과하고 있다. 이렇듯, IBM 은 2014 년 첨단 컴퓨팅 시스템을 개발하는 5 개년 프로젝트에 미화 30 억 달러를 투자한 바 있다. 이 중 대부분의 자금은 양자 컴퓨팅에 사용되었다. 2020 년 미국이 국가 양자 이니셔티브를 채택한 이후, 주요 IT 기업은 5 년에 걸쳐 동 프로젝트에 미화 3 억 달러를 추가로 투자할 계획임이 밝혀졌다.

스타트업에 대한 벤처 투자자의 관심도 높아지고 있다. 크런치베이스(Crunchbase)에 따르면 현재 양자 컴퓨팅 분야에는

^{14.} <https://news.microsoft.com/2018/06/28/microsoft-and-dewa-bringing-quantum-computing-to-dubai/>

^{15.} <https://www.cnet.com/roadshow/news/ford-quantum-computing-experiment-cuts-traffic-commute-times/>

^{16.} <https://fpi.gov.ru/projects/informatsionnye-issledovaniya/liman/>

약 200 개의 스타트업 회사가 있으며, 이들에 대한 총 투자금은 약 미화 15 억 달러이고, 그중 2/3 는 하드웨어 플랫폼 분야의 프로젝트에 사용되고 있다. 자금은 주로 광양자 및 초전도 컴퓨터에 투자되고 있다.

경제 및 사회 분야에서 주력 제품의 응용에 대한 관심도 높아지고 있다. 금융권의 경우 2020 년 중반까지 21 개의 주요 국제 은행(JP Morgan Chase, Goldman Sachs, Wells Fargo, Barclays 등)은 리스크 평가, 포트폴리오 최적화 및 금융 상품 가치 예측을 포함한 다양한 금융 분석 영역에서 시범 연구 프로젝트를 출범시켰다.¹⁴

오크리지 국립 연구소(미국)의 한 프로젝트는 다양한 소스로부터 전기 분배의 최적화, 과도 해석, 에너지 소비 예측 분석, 국가 에너지 시스템의 안정성과 신뢰성을 제고하기 위한 새로운 아키텍처를 계획한다¹⁵. 한편, 두바이 수전력청은 Microsoft 의 클라우드 기반 양자 컴퓨팅 서비스를 사용하여 다양한 소스로부터 균일한 전력 소비에 대한 관리를 최적화하려 노력하고 있다.

운송 및 물류 분야에서는 다수의 시범 개발들이 구현되었다. 2020 년 도요타(Toyota)는 300 만 개 이상의 경로가 있는 대규모 물류 네트워크를 최적화하기 위한 실험을 수행하였다. 후지쯔의 디지털 어닐러(Fujitsu Digital Annealer) 양자 컴퓨터는 수백 개의 공급업체로부터 부품을 구매하고 여러 개의 운송 창고를 통해 수십 곳의 공장으로 배송할 있는 가능성을 고려하여 수백만 개의 잠재적 선택 중 최적의 경로를 결정할 수 있었다. 포드(Ford)는 NASA 의 전문가와 함께 D-Wave 컴퓨터로 실험을 수행한다¹⁶. 시애틀시의 경우 5,000 대의 차량에 대한 교통 최적화가 수행되었다. 그 결과 모든 차량에 대한 개별 경로가 20 초 만에 계산되어, 총 이동 시간이 73% 단축되었다.

그럼에도 불구하고 현존하는 양자 장치는 실제 작업을 실현하는 부분에 있어서 아직 고전적인 슈퍼컴퓨터에 비해 우수한 점이 없다(양자 컴퓨터의 장점은 일부 특수 작업을 기존 컴퓨팅 시스템보다 훨씬 빠르게 해결할 수 있는 능력이 있음). 추정에 따르면 실제 산업환경에서 요구하는 만큼의 다양하고 복잡한 수준의 문제를 해결하려면 수천 큐비트로 구성된 양자 컴퓨팅 시스템이 필요할 수 있다.

- 중간 정도 크기의 유기 분자 및 다양한 화학 반응의 정확한 모델링을 위해서는 약 1,000 개의 논리 큐비트가

필요함(BASF)

- 금융 파생상품의 가치를 실시간으로(1 초 미만) 예측하기 위해서는 7,500 개의 논리 큐비트가 필요함(Goldman Sachs, IBM)
- Hubbard 모델을 사용해 고온 초전도와 관련한 문제를 모델링하기 위해서는 7,500 개의 물리 큐비트가 필요함
- 8 시간 이내에 RSA-2048 암호화 표준을 풀기 위해서는 2,000 만개의 물리 큐비트가 필요함(Google)

양자 컴퓨터를 제작한다고 해서 고전적인 컴퓨터와 슈퍼컴퓨터를 개발할 필요성이 낮아지는 것은 절대 아니다. 양자 컴퓨터는 복잡한 분자 모델링, 새로운 약물과 신소재 창출과 같은 중요하면서도 아주 복잡한 특정 문제를 해결하는 데 일차적으로 사용되어야 한다.

러시아에서는 선진연구사업재단(Russian Foundation for Advanced Research Projects) 및 Dukhov Automatics Research Institute(FSUE VNIIA)가 러시아 연방 교육과학부 및 국영기업 로스아톰(Rosatom State Corporation)의 지원을 받아 초전도 큐비트를 기반으로 한 양자 컴퓨팅을 개발하는 리만(Liman) 프로젝트의 구현을 추진하였다. 동 프로젝트는 러시아의 상위 대학교(MIPT, MISIS, NSTU, Bauman MSTU)와, ISSP RAS, 러시아 양자 센터 그리고 컨소시엄의 모기관인 FSUE VNIIA 을 통합한 과학 컨소시엄이 실행하였다. 동 프로젝트의 일환으로 초전도 2 큐비트 회로 제조를 위한 기술이 미세 조정되었다¹⁷.

초전도체에 기반한 양자 시뮬레이터 분야에서는 MISIS 초전도 메타물질 연구소의 노력으로 주요한 기반이 마련되었다. 특히 20 플렉스 큐비트의 양자 메타물질이 개발되었다¹⁸.

초전도 큐비트를 생성하는 또 다른 별도의 프로젝트는 MIPT 가 구현하고 있다. 2021 년 5 초전도 큐비트를 기반으로 한 최초의 양자 집적 회로가 바로 여기에서 제작되었다. 현재 MIPT 는 양자 장치를 독자적으로 개발, 제조 및 시험할 수 있는 유일한 기회를 갖추고 있다.¹⁹

러시아에는 만능 중성원자 양자 컴퓨터를 적극적으로 개발 중인 연구 센터들이 여러 곳 있다. 로모노소프 모스크바 국립대학 양자 기술 센터는 원근법에 따라 최대 50 개의 단일 원자를 포획할 수 있는 마이크로 트랩 홀로그래픽 어레이를 시연했으며, Rzhanov

¹⁷ <https://fpi.gov.ru/projects/informatsionnye-issledovaniya/liman/>

¹⁸ <https://www.nature.com/articles/s41467-017-02608-8>

¹⁹ https://mipt.ru/news/fiziki_mfti_priblizili_sozdanie_kvantovogo_kompyutera_v_rossii

ISP SB RAS 는 양상블로 린드베리(Rydberg) 원자를 사용한 광범위한 경험을 갖추고 있다.

RQC 그룹은 극저온 가스, 보손 및 페르미온 쌍극자를 기반으로 한 새로운 유형의 양자 시뮬레이터와 위상적으로 안전한 양자 정보 프로세싱을 위한 새로운 시스템을 제안하였다.

러시아 과학 아카데미의 분광학 연구소(ISAN)는 극저온 원자 가스 물리학 분야에서 많은 연구를 수행한 바 있다. 동 연구소의 연구 그룹은 다 입자 양자 시스템 모델링 분야에서 세계적인 선도자 중 하나이다.

이온 포획 양자 컴퓨팅은 선도 연구 센터(LRC) 프로그램의 일환으로 RQC, LPI RAS, Skoltech, Valiev IPT RAS 에서 구현되고 있다. 동 프로젝트에서는 중간 규모의 양자 장치 기능을 분석하기 위한 양자 상태의 확률적 표현 가능성에 대한 연구 분야에서 최초의 결과를 얻었다.

RQC 와 MPGU 의 연구원들은 냉각된 칼슘 이온을 사용한 양자 컴퓨터를 공동 개발하고 있다. 표면 이온 트랩의 첫 샘플이 제작되었으며, 진공 체임버와 이온 트랩의 하이브리드 시스템이 설계되었다.

RQC는 러시아 최초로 폴라리톤 큐비트에 대한 특허를 등록했다. 마그논 큐비트 생성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이 조직에서는 마그논 소스로부터 먼 거리 (1mm 초과) 에서 마그논 보스-아인슈타인 응축물의 국부적 영역을 생성하는데 성공하였다.

Valiev IPT RAS 는 양자 컴퓨팅용 소프트웨어 개발의 일환으로 고정밀 모델링과 양자 정보 기술의 제어 작업을 수행한다. 또한, 로모노소프 모스크바 국립대학과 RQC 는 양자 컴퓨팅을 위한 클라우드 플랫폼의 실험적 시제품 2 개를 출범했다.

따라서 러시아는 기본 큐비트 기술과 이를 기반으로 한 주력 제품(양자 컴퓨터 포함)의 시제품 생성에 특정한 기반을 갖추고 있다.

국가 지원

많은 국가의 정부는 양자 산업을 개발하고 지원하기 위한 프로그램을 시작하고 있다.

2016년, 중국은 13차 5개년 계획의 일환으로 양자 통신 및 양자 컴퓨팅을 개발하기 위한 법국가적 메가 프로젝트를 출범하였는데, 동 프로젝트는 2030년까지 핵심적인 결과를 달성하는 것을 목표로 하고 있다. 지난 15년 동안 총 예산은 약 미화 10억 달러였다. 2017년 중국 정부는 허페이에 세계 최대 규모의 양자 연구소를 설립하는데 미화 100억 달러를 할당하였다.

2018년 미국은 국가 양자 이니셔티브를 통과시켰는데, 동 이니셔티브는 연방 센터들이 학술 기관 및 민간 부문과 협력하도록 규정하고 초기 예산으로 5년 동안 미화 12억 달러를 책정하였다.

2018년, 유럽연합 집행위원회(European Commission)는 10억 유로 예산의 양자 플래그십(Quantum Flagship) 프로그램을 시행하여 약 20개의 연구 프로젝트를 지원하였다. 양자 기술 개발에 대한 일부 EU 국가(예: 독일 및 프랑스) 프로그램에 대한 예산은 해당 유럽연합의 통합 예산을 크게 초과하는 경우도 있다. 추정에 따르면, EU가 양자 기술에 할당한 예산은 이미 70억 유로를 초과하였다.

기타 다른 국가에서도 지난 1~2년 동안 양자 전략 및 프로그램을 출범하고 있다.

- 캐나다의 경우 2020년, 양자 산업의 선도업체를 포함한 24개 기업이 설립한 산업 컨소시엄이 조직되었다 (D-Wave, 1Qbit, Xanadu, Zapata, ISARA). 연구 자금은 지원금을 통해 제공되고 있다;
- 2021년 프랑스는 18억 유로의 예산으로 국가 양자 전략(2021년~2025년)을 채택하였다(이중 7억 8천만 유로는 양자 컴퓨팅 개발에 직접 할당됨);
- 독일은 20억 유로의 지원으로 국가 양자 프로그램(2021년~2028년)을 시행하고 있다;
- 영국은 10억 파운드의 예산으로 국가 양자 기술 프로그램(2014년~2024년)을 시행하고 있다;
- 중국은 미화 100억 달러 규모의 국립 양자 연구소를 설립하였다(새로운 센터는 2020년 12월, 허페이시의 37헥타르 부지에 운영 중);

- 인도는 미화 11억 2천 달러의 예산으로 양자 기술 개발 이니셔티브 프로그램(2020년~2024년)을 추진 중이다;
- 일본은 미화 2억 8천만 달러의 예산으로 양자 도약 프로그램(2018년~2027년)을 시행 중이다;
- 대만은 미화 2억 8200만 달러의 예산으로 퀀텀 타이완(Quantum Taiwan) 프로그램(2021년~2025년)을 시행 중이다.

양자 기술 개발의 중요한 이정표는 대기업에 역량 센터를 만들고 민간 파트너십을 강화하는 것이었다. 또한 동 산업의 근황과 기술 개발 현황을 평가하고, 국내 제조업체의 이익을 보호하며, 지적재산권의 보호대상을 창출하고, 에코시스템을 개발하며, 연구개발 자금을 지원하기 위해 국가 산업 협회들이 구성되고 있다.

최초의 이러한 컨소시엄인 미국의 양자 경제 개발 컨소시엄(Quantum Economic Development Consortium)은 2018년에 설립되었다. 오늘날 이 컨소시엄에는 다양한 산업(IT, 엔지니어링, 보험 및 금융)에 속한 100개 이상의 주요 기업, 약 40개의 대학교, 국가 연구소 및 공공 기관이 포함되어 있다. 2020년에는 이와 유사한 컨소시엄인 퀀텀 인더스트리 캐나다(Quantum Industry Canada)가 캐나다에 설립되었다. 2021년에는 유럽연합에서도 Airbus, Atos, BASF, KPN, E.ON, Thales 등 70개의 주요 기업을 영구회원으로 구성한 양자 산업 컨소시엄(Quantum Industry Consortium)이 설립되었다. 2021년 일본은 도요타 자동차(Toyota Motor), 도시바(Toshiba), NEC, NTT, 후지쯔(Fujitsu), 히타치(Hitachi)를 비롯한 50개 이상의 기업이 참여하는 유사 협회를 구성하였다.

국가 지원의 핵심 영역 중 하나는 우수한 자격을 갖춘 인력에 대한 교육을 제공하는 것이다. 양자 산업에 대한 전문가는 이미 전 세계적으로 부족한 상태이다. 양자 산업 전문가에게 요구되는 주요 사항은 고전 물리 및 양자 물리학, 전자공학 및 컴퓨터 과학 등 관련 분야에 대한 자격과 폭넓은 지식이다. 2020년 미국에서는 퀀텀 프론티어(Quantum Frontiers) 선언서가 발표되었는데, 여기서 국가가 직면한 여러 긴급 과제 중 하나로 양자 공학의 새로운 특수 분야에 대한 교육의 필요성을 꼽았다.

현재 여러 나라의 많은 대학교에서는 이미 양자 정보 기술에 대한 균형 잡힌 교육 프로그램을 제공하고 있다. 이들의 대부분은 1~2 년의 석사 과정이며, 덜 보편적으로는 학부 또는 추가 교육 프로그램인 경우도 있다. 매년 양자 물리학을 공부하는 석사 과정생의 수는 대학 마다 평균 10~30 명 정도인 반면, 일부 대학교의 경우 양자물리학 관련 학문을 공부하는 학생 수는 50 명~70 명 정도이다. 2021 년 4 월, 하버드 대학교는 세계 최초로 양자 과학 및 공학 분야에서 대학원 프로그램을 도입하였다.

양자 컴퓨팅 개발에 대한 러시아의 지원은 러시아 디지털 경제 국가 프로그램의 디지털 기술 연방 프로젝트의 일부로 제공되고 있다. 특히 2019 년 확립된 기준에 따른 경쟁 공모를 통해 러시아 개발 기관들은 주요 프로젝트를 선택하고 연방 예산에서 과제 지원금을 지급하였다.

이러한 경쟁 공모결과에 따라 국가지원을 받게 된 양자 컴퓨팅 분야의 한 과제가 있었다. 러시아 양자 센터는 양자 컴퓨팅, 범용 양자 컴퓨터, 이온 포획 양자 컴퓨터, 양자 알고리즘 및 양자 소프트웨어 분야의 선도 연구 센터 중 우승자로 선정되었다. 동 과제의 산업 파트너는 국영기업 로스아톰(Rosatom State Corporation)이다. 이 프로젝트는 2020 년부터 추진 중에 있다.

양자 컴퓨팅 첨단 기술 분야에서 기술 개발을 가속화하고 글로벌 기술 시장에서 러시아의 선도적인 위치 점유를 위해서 러시아 연방정부는 로스아톰 국영기업과 협약을 체결하였다. 동 협약의 주요 실천 메커니즘은 로스아톰, 러시아 연방정부 및 기타 조직의 활동을 조정하고자 개발된 로드맵을 중심으로 이루어지는데 그 목표는 중장기적으로 양자 컴퓨팅 분야에서 세계 첨단 수준의 실질적인 과학적, 기술적 결과를 얻는 것이다. 동 로드맵은 러시아 디지털 경제 국가 프로그램의 디지털 기술 연방 프로젝트의 일환으로 이행되고 있다.

로드맵은 과학 및 에코시스템 개발에 대한 목표지표, 우선순위 기술, 목표 달성을 위한 여러 조치 그리고 이에 필요한 재정 지원 금액을 정의한다. 핵심 과제들은 다음과 같다:

- 양자 컴퓨팅을 실제적인 문제 해결에 활용하기 위한 양자 프로세서, 양자 시뮬레이터, 통합 클라우드 플랫폼을 제작하여 경쟁력 있는 양자 컴퓨팅 기술의 개발
- 인적 자원의 개발, 교육 프로그램의 창설, 스타트업의 생성, 기술 및 금융 파트너와의 상호작용을 포함하여 양자 컴퓨팅을 개발하기 위한 과학기술 에코시스템의 형성

로드맵의 주요 목표는 2024 년, 실제 과제를 해결하기 위한 양자 컴퓨팅의 적용사례를 시연하고 2030 년에는 기술을 상용화하여 세계 양자 컴퓨팅 시장에 진입하는 것이다. 2024 년까지 로드맵의 실천의 결과는 하드웨어 플랫폼에서 소프트웨어 제품, 알고리즘까지 양자 컴퓨팅에 대한 전체 시스템을 생성하는 것이다.

핵심 방향 중의 하나는 관심 있는 교육 및 과학 기관과 비즈니스 커뮤니티를 통합하여 양자 컴퓨팅 개발을 위한 과학 및 기술 에코시스템을 형성하는 것이다. 이를 위해 국립 양자 연구소 컨소시엄이 2020 년 11 월 설립되었다.

양자 산업에 역량을 갖춘 인력을 제공하기 위해 러 MIPT, MEPhI, HSE 대학교, 로모노소프 모스크바 국립 대학교, MISIS, 및 MIET 등 교육기관들은 양자 컴퓨팅에 대한 특별 교육 프로그램을 개발하여 성공적으로 구현하고 있다. 또한 ICQT 2021, 제 6 차 양자 기술 국제 컨퍼런스: 디지털 에디션, Nobel Vision Open Innovations 2.0 국제 포럼, 상트페테르부르크 국제경제포럼(St. Petersburg International Economic Forum, SPIEF)의 테마별 프레젠테이션, 동방경제포럼(Eastern Economic Forum, EEF), 모스크바 국제 교육 전시회(Moscow International Salon of Education, MSE), 베를린 과학 주간(Berlin Science Week)을 포함한, 전문 커뮤니티 개발 이벤트(컨퍼런스, 강의, 세미나)들이 개최되었다. 일반 교육에서도 비슷한 업무가 진행되고 있다. 한편, 산업 파트너들은 자체의 역량 센터들을 설립하고 있다.

로드맵 이행 기간인 2021 년~2024 년에는 필요한 기술 기반의 구축은 물론 세계적 수준의 우수한 역량을 갖춘 인력공급이 이루어져야 한다.

발전 전망

향후 몇 년 동안 양자 원리를 기반으로 구축된 컴퓨터에 대한 수요는 빠르게 증가할 것이다. 이는 국가 안보를 위한 기술의 전략적 중요성, 경제사회 핵심 부문의 생산성 증대 그리고 AI를 비롯한 관련 기술 분야의 발전에 기인한다.

연구원들의 추정치에 따르면, 매우 오류율이 낮고 수천 큐비트로 이루어진 양자 컴퓨터는 실제 최적화 문제 해결과, 시나리오 구상 그리고 기계학습 문제 해결을 위한 계산을 가능하게 하고, 보다 복잡한 시스템(수백만 큐비트 규모)은 신소재 및 약물 개발, 구조화되지 않은 데이터베이스 검색 및 암호 분석을 가능하게 할 것이다.

양자 컴퓨팅 시장은 아직 초기 단계에 있다. 주력 제품으로는 각 신흥 기술 플랫폼을 기반으로 한 양자 컴퓨터, 클라우드 접속 시스템 그리고 양자 컴퓨팅을 위한 애플리케이션 소프트웨어 등이 있다. 현재 양자 컴퓨터 부문에서는 아직 상대적으로 간단한 장치와 프로세서만 판매되고 있다. 현단계에서 보다 광범위하고 실용적인 분야는 이미 최첨단 컴퓨팅 인프라에 대한 액세스를 허용하는 양자 컴퓨팅의 클라우드 서비스이다.

현재 양자 기술의 주요 고객은 대부분의 나라에서 아직 국가이다. 이는 주로 정보 보안처럼 국가 이익을 보호하는 데 양자 기술이 매우 중요하기 때문이다. 그렇지만 산업 응용 분야의 경우, 기업들은 대용량 데이터를 처리하거나 복잡한 계산 문제를 해결하기 위해서 양자 컴퓨팅을 널리 찾게 될 것이다.

지난 수십 년간의 연구에 따르면 양자 컴퓨팅 원칙을 기반으로 한 컴퓨터는 양자 화학 및 신소재, 생의학, 물류의 최적화, 빅데이터 및 기계학습, 은행 및 보험, 금융 분야, 에너지, 소매 등의 분야에서 기존 컴퓨터보다 몇 배나 더 효율적일 수 있다.

양자 컴퓨팅의 잠재력을 실현하려면 역량을 갖춘 전문가를 양성해야 한다. 여러 주요 대학교에서는 양자 정보 기술 분야에 이미 균형 잡힌 교육 프로그램을 만들고 있다.

지식을 축적하고 경험을 공유하기 위해서는 국가 생산업체의 이익 보호, 인프라 및 지식재산권의 공동 창출, 프로젝트에 대한 자금 조달 등의 업무를 수행하는 선도 기업 및 대규모 연구 기관을 기반으로 한 역량 센터와 컨소시엄이 조직되어야 한다.

미래 기술 솔루션의 진화는 양자 하드웨어의 개발 방향에 따라 결정될 것이다. 외국 분석사들에 따르면, 향후 3~5년 동안

가장 강력한 양자 컴퓨팅 시스템들은 운송 경로 및 물류, 금융 포트폴리오 최적화 및 무역 계산과 같은 실용적인 최적화 작업을 해결할 수 있을 것이다. 더 복잡한 과제의 구현은 5~7년(시나리오 모델링 및 기계학습 관련 일부 문제) 혹은 10~20년(복잡한 분자 모델링, 정렬되지 않은 데이터베이스의 검색, 암호 분석 등)이 소요될 것이다.

러시아가 로드맵 이행 결과로 생성할 기술 및 서비스는 첨단 양자 컴퓨팅 분야의 기초 기술에서부터 하이테크 제품에 이르기까지 전 주기를 포괄한다. 그러나 현재 러시아에서 개발 중인 양자 컴퓨터는 실험용이며, 상업용 완제품으로 판매하는 것을 목적으로 하지는 않는다. 이러한 클라우드 기반 양자 컴퓨팅 서비스의 모델은 사용자가 다수의 실용적 최적화 및 기계학습 과제를 구현할 수 있도록 할 것이다. 동 클라우드 컴퓨팅 플랫폼으로 최소 매년 10,000건의 실험이 수행될 것으로 가정된다. 또한 사용자가 컴퓨터 시스템과 보다 쉽게 상호작용할 수 있도록 실용적인 알고리즘에 기반한 라이브러리가 개발될 예정이다. 2025년까지 러시아는 완전히 기능하는 주력 양자 컴퓨팅 시제품(양자 컴퓨터, 클라우드 서비스, 응용 소프트웨어)을 모두 보유할 예정이며 이는 다시 향후 상용 솔루션의 기반이 될 것이다. 2024년~2025년 러시아는 주 산업 고객의 이익을 위해 양자 컴퓨팅에서 시범 프로젝트를 시행할 예정이다. 이러한 비즈니스 모델의 상용화와 산업 분야에서의 기술, 제품 및 서비스의 구현은 2025년~2030년 시기에 이루어질 것으로 예상된다.

현재 러시아의 양자 컴퓨팅 부문은 세계 선진국들에 비해 7~10년 정도 뒤쳐져 있다. 그렇지만 로드맵이 제공하는 전체 작업을 완전히 구현할 시에는 2025년 이러한 격차가 2~3년 수준으로 줄어들 것으로 가정된다. 여기서 주목할 것은 주요 국가(주로 미국과 중국)의 괄목할 연구개발 수행 증대와 양자 컴퓨팅 개발에 대한 공공 및 민간 투자의 증대이다. 이러한 이유로 오늘날 하드웨어 개발의 세계적 선진국들과 어깨를 나란히 하는 시점을 예측하는 것은 사실상 어렵다. 그럼에도 불구하고 양자 소프트웨어 개발 부문에서 러시아의 기술은 이미 글로벌 수준에 도달하고 있으며, 이는 얼마 전까지 국내 개발자와 세계 선도 기업간의 성공적인 상호협력의 경험으로 입증할 수 있다.

양자 통신



약어

FOCL	광섬유 통신선
IS	정보 보안
IT	정보기술
QC	양자 통신
QKD	양자 키 분배
QN	양자 네트워크
QKDS	양자 키 분배 시스템
PCT	특허협력조약, 국제 특허 시스템

첨단 기술 분야로서 양자 통신의 개발은 특히 정보 보안 분야에서 증가하는 위협을 감안하면, 공공 행정 시스템을 포함한 디지털 경제를 위한 복합 보호 인프라를 구축하는 데 매우 중요하다.

러시아는 양자 통신(QC) 기술 및 장비 분야에서 상당한 과학적, 기술적 기반을 구축하였다. 러시아 양자 통신 생태계의 선도 기업이자 조직인 러시아 철도(Russian Railways JSC)의 과제는 이러한 기반을 대규모 인프라 프로젝트로 전환하고, 동 기술 및 솔루션의 추가 발전을 보장하며, QC 생태계와 시장의 개발을

촉진하여 러시아 연방이 동 분야에서 세계적인 선진국의 위치에 설수 있게 하는 것이다.

이러한 목표를 달성하기 위해 러시아 철도와 러시아 연방 정부는 러시아에서 양자 통신 첨단 기술 분야의 발전을 위한 협력의 향서를 체결하였다. 이러한 협정을 바탕으로 로드맵이 개발되었는데, 동 로드맵은 2024 년까지 연구자와 엔지니어 등 전문가 사회를 통합하고, 국내 QC 생태계를 개발하며, 관련 시장을 형성하는 것을 목표로 한다.¹

양자 통신이란?

양자 통신은 공간에서 양자 상태의 전달과 관련된 지식 및 기술의 분야이다. QC 의 한 분야는 양자 키 분배(QKD)를 기반으로 안전한 통신 채널을 생성하는 것인데, 양자 키분배는 QC 기술을 사용해 전송된 정보를 보호하는 방법으로서 데이터가 손상되거나 무단으로 액세스되는 일이 없도록 보호하는 것이다.

지난 5 년 동안 QC 기술은 기초 연구에서 응용 개발로 진전하였는데 일부 국가에서는 실제 구현의 첫 번째 단계에 이르렀다. 동 분야에 대한 높은 관심과 투자는 국가의 디지털 주권과 관련한 QC 의 전략적 중요성 때문이다.

2021 년 1 월 기준 캐나다 고등연구소(Canadian Institute for Advanced Research)에 따르면 중국, 미국, 러시아를 비롯한 17 개 국가가 QC 연구개발을 지원하기 위한 적극적인 국가 프로그램 및 이니셔티브를 보유하고 있다. 스페인, 덴마크, 아랍에미리트 등 12 개 국가에서는 국가 지원 프로그램이 구현 초기 단계에 있다. 또한, 14 개 국가가 다수의 범 유럽 이니셔티브에 참가하고 있다. 각 프로그램의 예산은 미화 수천만 달러에서 10 억 달러까지 이르며, 대부분의 프로젝트는 국가 예산으로 자금을 조달하고 있다. 기초 연구 결과가 실용적 과제로 전환되면서, 첨단 기업과 벤처 캐피털리스트의 민간 투자 비율은 증가하고 있다. 양자 기술 개발에 대한 총 투자는 미화로 250 억 달러 이상이다.²

QC 프로젝트는 양자 기술에 대한 전체 프로그램 및 작업 규모의 약 20~40%를 차지하고 있다.

QC 인프라 개발을 위한 글로벌 양자 경쟁의 시작을 알리게 된 주요 계기는 몇몇 가입자를 연결하는 개별 회선의 개발과 그 시범으로부터 다수의 연계 및 단말기 노드로 이루어진 복잡한 형상의 온전한 통신 네트워크를 생성할 수 있게 하는 기술로의 질적인 전환이었다.

¹ 양자 통신 기술 로드맵(Technology Roadmap of Quantum Communication)은 2020 년 8 월 27 일자 삶의 질 및 비즈니스 환경 개선을 위한 정보 기술의 사용 제 17 호에 게재된 디지털 개발 정부 위원회 상임 위원회 회의록에 의해 승인됨. 2019 년 7 월 8 일자 러시아 정부 행정명령 제 1484-r 호에 따라 양자 통신을 개발하기 위해 러시아 연방정부와 러시아 철도 간 2019 년 7 월 10 일에 체결된 협력의향서 OJSC No.88 를 이행하기 위한 주요 메커니즘임.

² CIFAR. A Quantum Revolution: Report on Global Policies for Quantum Technology. <https://cifar.ca/wp-content/uploads/2021/04/quantum-report-EN-10-accessible.pdf>

현재 다중 노드 트렁크 및 도시 광섬유 QN 은 미국, 유럽, 영국, 일본, 중국 및 러시아에 배치되어 있다.

QC 의 높은 관련성과 역동적인 개발은 러시아 및 전 세계의 출판 및 특허 활동의 꾸준한 성장을 통해 확인할 수 있다. 2010 년 이후 동 분야 과학 논문의 수는 꾸준히 증가하고 있다(그림 1). 지난 몇 년 동안은 전 세계적으로 연간 약 2,500 편의 논문이 발행되었다. 2018 년~2020 년 논문출판 수에 있어 세계 상위 5 개 조직은 선진국들의 과학 기관 및 대학교이다(이중 3 개는 중국에 있음).

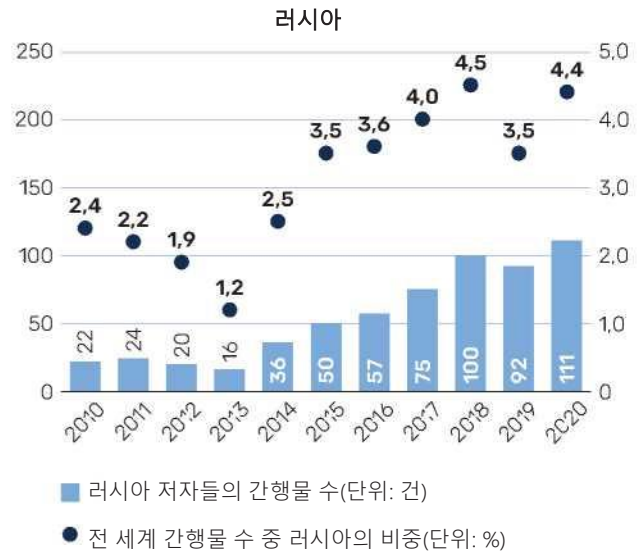
양자 통신 기초 및 응용 연구의 선두주자는 중국, 미국, 독일, 영국, 일본, 캐나다, 스위스 그리고 한국 등이다. 출판 및 특허활동 수준으로 봤을 때 러시아는 상위 10 개국에 속한다. 러시아는 전 세계 총 출판물 수의 4%, 특허출원 규모에서 1%를 차지하고 있다. 전 세계의 특허출원 총 수는 아직 그리 높은 편은 아니며 매년 600~700 건 정도이다(그림 2). 중국은 동 분야 특허출원에서 큰 격차로 앞서고 있는데, 2017 년~2019 년 총 특허 출원 수는 2 위를

차지한 미국에 비해 10 배 이상이다(1,443 건 대비. 141 건).

2017 년~2019 년 특허 출원 건수에 있어서 상위 5 개 조직에는 과학 연구기관 외에도 1 개의 민간 기업 QuantumCTek (중국)도 포함되어 있다. 이는 기업에서도 QC 개발에 상업적 관심이 증가했음을 입증한다.

유사한 경향은 러시아에서도 발견된다. 선도 기관들은 출판 활동에 주로 기여한 다음의 연구 센터이다: 모스크바 국립대학교, ITMO 대학교, NUST MISIS, KFTI, KNRTU-KAI, HSE 등. 기술작업은 QC 분야의 제품과 서비스를 제공하는 다수의 기업에서 수행하고 있다. 또한 러시아의 디지털 경제 국가 프로그램 내 디지털 기술 연방 프로젝트의 일환으로 국가 기술 이니셔티브 역량 센터(NUST MISIS 에 있는 NTI 의 양자 통신 역량 센터, 물리학부에 위치한 양자 기술 센터, 로모노소프 MSU)와 선도 연구 센터(ITMO 대학교의 양자 인터넷 국립센터)가 설립되었다.

그림 1. 간행물 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

정보기술이 발전함에 따라 정부, 의료 기관, 기업을 주 목표로 한 사이버 공격 위협에 대한 중요성은 점차 커지고 있다. 또한 많은 주요 과학 기관과 기업(Google, IBM 등)은 양자 컴퓨터 제작에 대한 연구를 수행하고 양자 우월성에 대한 성과를 입증하고 있으며 잠재적으로 이를 통해 계산 문제에 대한 해결 속도를 크게 높일 수 있다. 데이터 보호에 대한 신뢰성을 높이기 위해 연구 중인 그룹도 있다. 이러한 관점에서 양자 통신은 산업에 매우 중요한 요소이다. 이러한 기술은 양자 물리학의 기본 법칙으로 인해 디지털 데이터를 보호할 수 있게 해주기 때문이다.

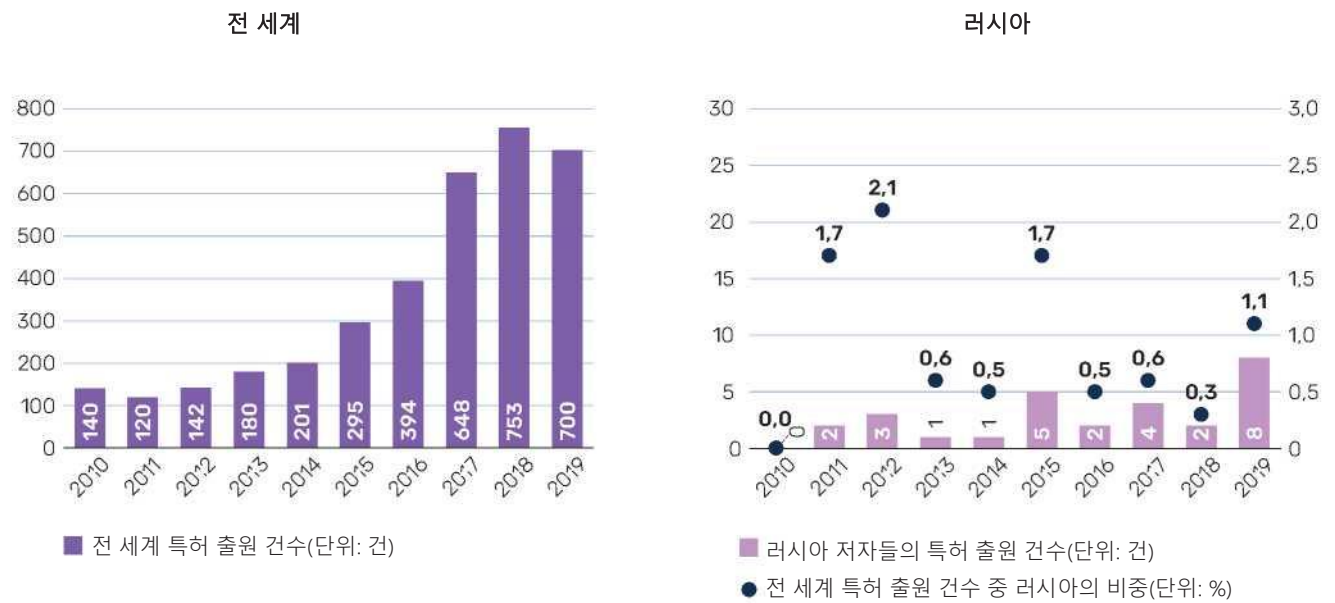
벤처 자금 투자 활동 역시 활발하다. 2018년, 한국의 통신사 SK 텔레콤은 ID Quantique 를 인수하였다. 동 거래는 5G 를 비롯한 통신 네트워크 개발에 대한 양자 기술의 전략적 중요성을 감안하여 회사의 가치를 미화 1억 3,000 만 달러로 평가하였다. 2020년 양자 네트워크(QN)용 장비 개발에 전문적인 중국 기업

QuantumCTek 는 상장³ 하여 최초의 양자 관련 유니콘 기업이 되었다. 동 기업은 현재 미화 20 억 달러 이상의 가치를 지닌다. 2021년 스타트업인 Quantum Xchange 는 미화 1,300 만 달러의 투자를 유치하였다.

QC 의 확산은 관련된 기술 분야의 발전과 밀접하게 관련되어 있다. 정부 지원이 활발한 일부 국가(중국, 캐나다, 한국 등)의 경우 안전한 단일 국가 정보 공간과 상용 국제 공간을 만들기 위한 지상 광섬유 QN 과 기타 공간 부문의 통합에 대한 작업이 진행 중에 있다.

양자 기술 개발을 위한 국가 프로그램과 연구 이니셔티브는 초전도체, 위상절연체 뿐만 아니라 양자 센서, 큐비트, 광자 소스 및 장치, 컴퓨팅 및 통신 시스템의 기타 구성 요소로 활용이 유망한 특정 불순물 또는 결함이 있는 소재 등 첨단 신소재 연구에 큰 관심을 기울여 왔다.

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

³ <https://fortune.com/2020/07/09/chinese-stocks-quantumctek-co-ipo>

기술

QC 를 기반으로 주력 제품 및 서비스의 향후 출현을 결정할 첨단 기술 방향의 구조에 따른 기술군은 다음과 같이 4 개로 분류할 수 있다: 양자 통신 네트워크, 신뢰할 수 없는 중간 통신 노드, 대기 및 우주 통신선, 그리고 QC 클라이언트 장치이다(그림 3).

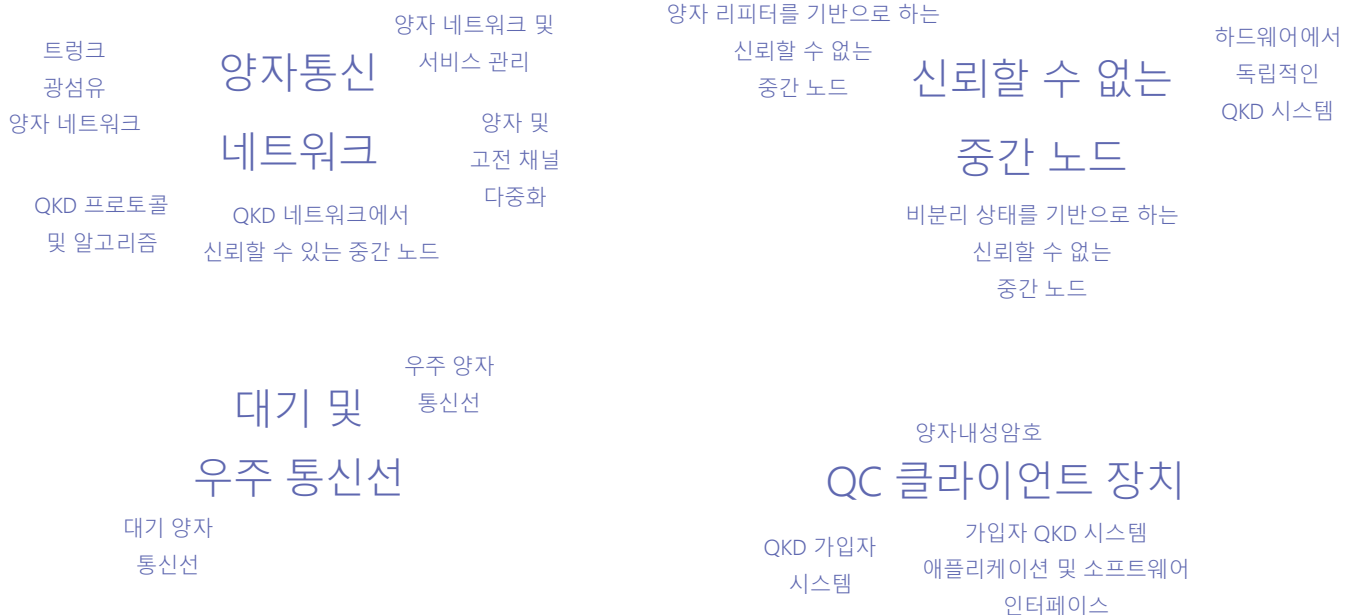
양자 통신 네트워크는 광범위한 정보 보호 서비스를 제공 가능하게 한다. 이러한 네트워크를 구축하는 데에는 다양한 수준의 토폴로지가 사용된다. 가장 일반적인 것은 간단한 점대점(point-to-point) 기하학을 구현하는 기본 솔루션인데, 이는 정부 기관 및 기업의 인프라에서 인증 뿐만 아니라 데이터 저장 및 전송의 보호에 사용하기 위해 설계되었다.

중국에는 100 개 이상의 기업이 이미 국가 양자 네트워크를 상용으로 사용하고 있다. 2021 년 8 월 EuroQCI 유럽 프로그램은 이탈리아, 슬로베니아 및 크로아티아 간 G20 정상회담에서 QC

기술을 사용하여 첫 번째 정부 간 협의를 진행하였다. 양자 채널을 통한 화상회의 세션은 트리에스테, 류블라나, 리에카 간에 진행되었다.

ID Quantique(스위스-한국), QuantumCTek, 화웨이(중국), 도시바(일본), SecureNet(프랑스) 등 세계의 수많은 과학 단체 및 기업들은 QC 네트워크의 구축 및 개선을 위해 노력하고 있다. 2022-2023 기간 동안 러시아에서 가장 중요한 것은 통신선의 길이(범위당 최대 200~220km), 양자 키의 생성 속도(선별된 키의 약 50~200kbps)와 같은 기술적 특성 뿐만 아니라 새로운 프로토콜을 사용한 장비 비용 최적화와 생산 개선 등을 포함한 국제적 수준에 부합하는 전체적인 솔루션의 구축이다.

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조



출처: 러시아 철도

신뢰할 수 없는 중간 통신 노드 전 세계 QC 개발의 우선 순위 분야는 양자 리피터 기술을 기반으로 한 장치 및 시스템의 구축으로, 다양한 국가 프로그램의 일부로 활발하게 개발되고 있다. 주요 목표는 신뢰할 수 없는 중간 통신 노드 모드로의 전환으로, 이는 신뢰할 수 있는 영역의 중간 통신 노드 위치에 대한 요건을 따르지 않기 때문에 양자 통신 네트워크의 운영 및 유지 관리 모드를 변화시키고 근본적으로 그 품질을 개선시킬 것이다. 현재 동 분야의 향후 발전을 저해하는 중요한 기술적 장벽은 양자 메모리 기술의 성숙도 부족이다. 관련 제약에 대한 극복은 앞으로 QC의 발전에 새로운 자극이 될 것이다.

대기 및 우주 통신선. 양자 통신 네트워크의 확대, 가입자 통신 범위의 증대 및 양자 통신 구현의 범위 확장에는 우주 부문 통합은 물론 모바일 객체 사용을 포함한 양자-보호 공중 통신 채널의 생성이 필요하다.

우주 산업의 활발한 발전에 따라 많은 국가(중국, 러시아, 미국, 캐나다 등)는 현재 저궤도 위성을 활용한 QKD 시스템 (QKDS)의 개발을 수행하고 있다. 신뢰할 수 있는 중간 양자 보호 통신 노드의 운영에 대한 실험은 2022년부터 2024년까지 지구 궤도의 소형 우주선은 물론 국제 우주 정거장에 설치된 모듈을 기반으로 이미 시행되고 있거나 시행될 예정이다.

QC 클라이언트 장치. 최종 사용자를 양자 네트워크에 연결하기 위해서는 QKD 장비를 설계하여 가입자 장치에 설치해야 한다. 클라이언트 단말기 제어 및 모니터링은 가입자 시스템에 대한 애플리케이션 및 소프트웨어 인터페이스를 통해 수행되어야 한다.

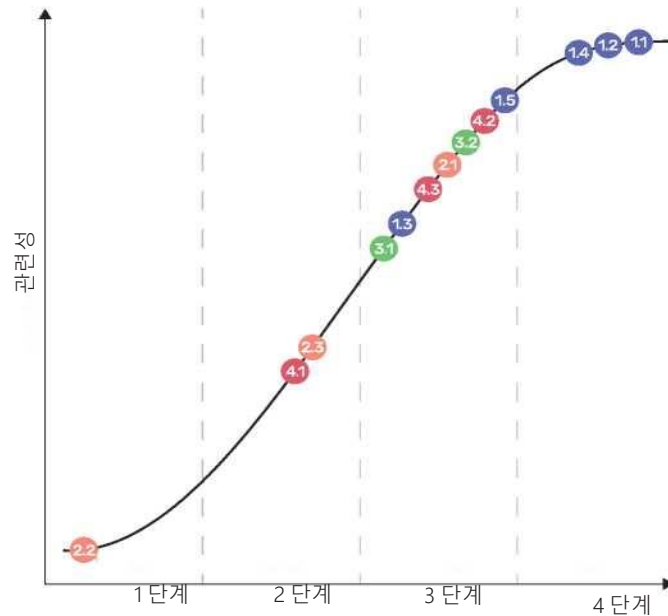
QC 클라이언트 장치 기술은 현재 광범위한 상업기관(은행, 대기업 및 중소기업 등), 정부 및 사회공공 영역(의료 등) 등 다양한 부문의 수요에 자극을 받아 활발하게 개발 중에 있다.

ID Quantique 및 QuantumCTek 과 같은 선도적인 기업들은 휴대용 양자 키 관리, 저장 및 발급 장치를 이미 시장에 출시하였다. Quantum Xchange 는 시장에서 키 서비스 관리용 규격 솔루션을 홍보하고 있다.

QC 기술군은 그 성숙도 수준에 따라 상당한 차이가 있다(그림 4). 지금 러시아 및 전 세계에서 가장 높은 수준의 성숙도를 나타내고 있는 기술은 광섬유 양자 통신 네트워크로 특징 지을 수 있으며, 양자 통신 네트워크의 신뢰할 수 없는 중간 노드 기술은 아직 개발 초기 단계에 있다.

러시아에서 현재 개발되고 있는 기술의 범위는 일반적으로 전 세계 추세에 상응하고 있다. 러시아 철도공사(Russian Railways JSC)의 예측에 따르면, 양자 통신 기술 로드맵 (Technology Roadmap of Quantum Communications)이 정의한 우선 순위 기술들은 2024년까지 필요한 주력 제품 및 제품 라인을 구축하기에 충분할 것으로 전망된다. 양자 통신 개발 계획은 2030년까지 추진 중인데 우주 부문 통합분까지 QC 기술 전체의 적용 분야를 다룰 수 있을 것이다.

그림 4. 기술 성숙도 곡선



양자 통신 네트워크

- 1.1 트렁크 광섬유 양자 네트워크
- 1.2 QKD 네트워크에서 신뢰할 수 있는 중간 노드 기술
- 1.3 양자 및 고전(정보) 채널 다중화
- 1.4 양자 네트워크 관리 기술 및 서비스
- 1.5 QKD 프로토콜 및 알고리즘

대기 및 우주 통신선

- 3.1 대기 양자 통신선
- 3.2 우주 양자 통신선

신뢰할 수 없는 중간 통신 노드

- 2.1 비분리 상태를 기반으로 하는 QKD 네트워크의 신뢰할 수 없는 중간 노드 기술
- 2.2 양자 복제기 기반 QKD 네트워크의 신뢰할 수 없는 중간 노드 기술
- 2.3 하드웨어에서 독립적인 QKD 시스템 기술

QC 클라이언트 장치

- 4.1 QKD 가입자 시스템
- 4.2 QKD 가입자 시스템 애플리케이션 및 소프트웨어 인터페이스
- 4.3 양자 내성 암호

출처: 러시아 철도

방법론. 중요성은 기술 성숙도 수준을 특징 지으며, 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)에서 지정된 기간 내의 기술에 대한 표준화된 언급을 반영한다. 연구개발의 집중도를 고려한 4 개 단계는 다음과 같다.

- 1 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- 2 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- 3 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- 4 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

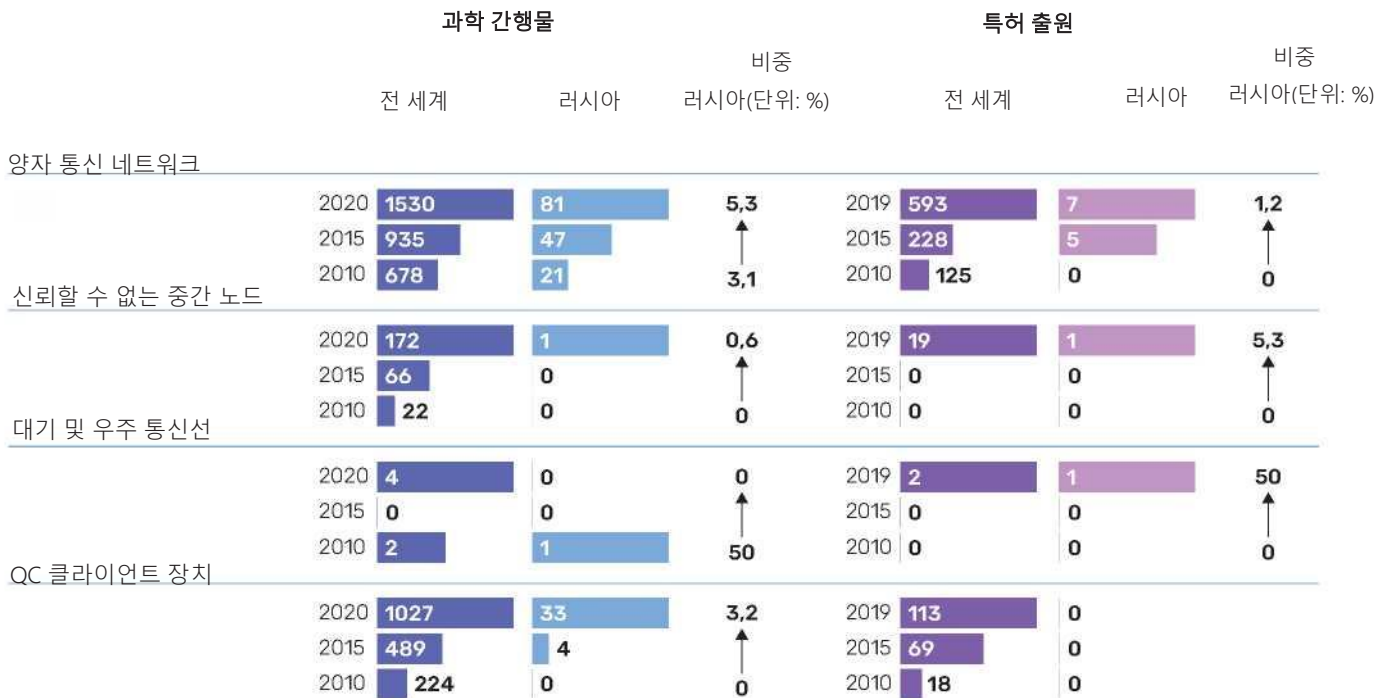
양자 통신 분야는 연구 센터 및 기업들이 노하우를 확보하고, 상업적으로 중요한 연구수행 및 개발에 대한 정보의 기밀을 유지하려는 성향 때문에 특허 및 출판 활동이 활발하지 않은 것이 특징이다. 양자 통신 분야에서 과학 논문의 약 55% 및 특허 출원의 약 80%는 기반요소 구축 및 장비 개발을 포함한 양자 통신 네트워크 기술과 관련되어 있다(그림 5). 이러한 수치는 주력 제품 시장의 규모와 관련이 있다.

현재 러시아에서 가장 높은 수준으로 개발이 진행된 분야는 광섬유 채널을 통한 양자 키 전송을 위한 제품 및 기술이다. 광섬유

통신선을 통한 양자 키 분배 시스템을 구축하는 경우, 주요 과제는 양자 통신 채널의 길이와 선별된 양자 키의 평균 생성 속도를 증가시키는 것이다. 이에 대한 시범 테스트는 로스텔레콤, 러시아 철도 및 기타 기업의 시험장에서 수행되었다.

한편 러시아에서는 많은 양자 통신 네트워크가 러시아 장비를 기반으로 구현되었는데, 이는 모스크바 국립대학교, KNRTU, ITMO 대학, MUST MISIS, MTUCI 등 선도적인 대학들의 활발한 참여 덕으로 이루어진 것이다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 주요 지표



출처: HSE 대학 통계 연구 및 지식 경제 연구소, 러시아 철도

제품 및 시장

오늘날 시장은 양자 키 및 양자 보호 데이터 채널을 공급하기 위한 서비스와 관련 서비스를 제공하는 QC 장비 라인을 제공하고 있다. 광섬유 및 대기 광학 링크를 사용하여 위의 서비스를 제공하기 위해서는 트렁크 양자 키 분배 시스템, 포인트 투 멀티포인트 QKDS, 지구 대기 광학 링크를 통한 QKDS, 양자 채널 지원이 가능한 고속 암호화 장치와 같은 주력 제품이 필요하다.

모바일 객체 QKDS 는 무인 운송 제어에 대한 서비스 적용 분야의 확장을 가능하게 할 것이다. 양자 키 배포 범위를 대륙 간으로 확장하고 광섬유선을 설치하지 않고도 원격으로 키를 전달하기 위해서는 위성 QKDS 개발이 필요하다.

가입자 장치를 위한 다양한 휴대용 QKD 장치의 개발은 단말기 가입자를 연결함으로써 QC 의 적용 범위와 그 시장의 확장 가능성을 제공할 것이다. 제어 및 모니터링은 양자 보안 키 서버를 사용하는 고정 및 이동 가입자가 있는 QN 제어 시스템을 통해 생성된다. 양자 채널과 고전 채널의 공동 운영을 보장하기 위해서는 양자 통신 네트워크 구축에 사용되는 장비의 측면에서 무작위 시퀀스를 형성하기 위한 특수 장치, 단일 광자 계수 장치, 그리고 양자 및 데이터 채널용 멀티플렉서의 개발이 필요하다.

QC 기술 및 시장, 제품 개발, 아키텍처 솔루션 및 시스템의 개발에 전 세계의 R&D 조직, 대기업 및 스타트업의 참여가 점점 더 확대되고 있다. QuantumCTek 는 전체 장비 라인을 제조하며 양자 통신의 트렁크, 도시, 지역 네트워크 구축 솔루션을 제공한다⁴ . ID Quantique(스위스-대한민국)는 inQKDS, 양자 네트워크 암호화 시스템은 물론 핵심요소 기반 단일 광자 계수기 및 양자 무작위 번호 추출기에 특화되어 있다⁵ . Quantum Xchange 는 데이터 보안 및 통신 네트워크를 위한 동적 라우팅을 갖춘 핵심 전달 네트워크인 퀀트 보안 정보 전송용 솔루션을 개발한다⁶ . 도시바는 멀티플렉서, 단일 광자 감지기 및 이를 통한 QKDS 를 개발한다⁷ .

신뢰할 수 있는 노드로 저궤도 위성을 사용하는 키 배포 서비스 또한 QC 분야에서 가장 전망 있는 개발 방향 중 하나이자 잠재적인 주력 제품으로 고려될 수 있다. 이러한 시스템은 기술의 지리적 거리와 기술 범위를 획기적으로 확대할 수 있다. 동 분야의 세계 선두주자는 여지없이 중국이다⁸ .

2020 년 전 세계 주력 제품 및 서비스 시장은 미화 1,800 만 달러 규모로 추정되었다. 시장의 주요 비중은 단일 광자 계수 장치(35%), 트렁크 QKDS(20%) 및 퀀트 보안 키 서버(20%)가 차지하고 있다⁹ . 2024 년까지 전 세계 시장은 미화 40 억 달러 규모까지 성장할 것으로 예상되며, 이중 서비스 및 토크 솔루션(25%)이 대부분을 차지할 것으로 보인다(50% 이상)¹⁰ .

전세계적으로 이미 양자 통신 네트워크를 사용하는 수많은 상업적 프로젝트가 구현되고 있다.

2017 년에는 베이징-상하이 간 2,000km 가 넘는 국가 트렁크 양자 네트워크가 구축되었다. 또한 같은 해에 Mozi 저궤도 양자 위성이 운영에 들어갔으며 해당 위성을 신뢰할 수 있는 허브로 사용하여 베이징과 Wen 간에 첫 번째 통신 세션이 진행되었다. 이로 중국 양자 트렁크 네트워크와 위성 통신 부문의 통합이 시연되었다¹¹ .

중국에 구현된 국가 양자 네트워크는 전 세계에서 가장 길다. 당 네트워크는 두 개의 지구 위성 광학 링크와 통합된 광섬유 통신선(FOCL)을 통해 최대 4,600km 의 거리 이내에서 안전한 정보 교환을 가능하게 하며, 국가 및 지역 은행, 지방 전력 망 및 전자정부 웹사이트를 포함한 전국 150 개 이상의 기업들이 운영한다¹² .

미국의 경우에는 Quantum Xchange 가 첫 번째 개방형 상업용 양자 네트워크를 개발하고 있다. 이 네트워크는 보스턴과 워싱턴을 연결할 예정이다. 네트워크의 길이(총 광섬유 길이)는 약 800km 이며, 현재 약 400km 의 트렁크 광학 네트워크가

4. <http://www.quantum-info.com/English>

5. <https://www.idquantique.com>

6. <https://quantumxc.com>

7. <https://www.toshiba.co.jp/qkd/en/index.htm>

8. 4,600km 에 걸친 통합 우주-지상 양자 통신 네트워크. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03093-8>

9. <https://digital.ac.gov.ru/upload/iblock/a28/Дорожная%20карта%20квантовые%20коммуникации.pdf>

10. <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2020>

11. 4,600km 에 걸친 통합 우주-지상 양자 통신 네트워크. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03093-8>

12. Ibid.

운영되고 있다. 향후 동 네트워크는 미국 전역으로 확장될 계획이다. 첫 번째 네트워크 구역(뉴욕-뉴저지)은 이미 가동되어 상업적으로 실행되고 있다¹³.

2020년 2월에는 미국 에너지부는 17개의 국립 연구소가 참여하여 개발, 운영하는 국가 양자 인터넷 프로젝트를 발표한 바 있다¹⁴. 네트워크의 첫 번째 구간은 약 80km 길이로, 시카고 인근에서 시험 모드로 시작된 교차 양자 상태의 전송 원리에 따라 작동하고 있다.

한국에서는 2020년 삼성이 국내 선두 통신사인 SK 텔레콤과 협력하여 금융 거래 등 민감한 데이터를 인증 및 보호하는데 사용하는 양자 무작위 번호 추출기를 내장한 휴대폰을 처음 출시하였다¹⁵.

유럽 연합의 경우 EU Horizon 2020 연구 프로그램¹⁶의 일환으로 OpenQKD 프로젝트¹⁷가 EU 전역의 사이버 민감 통신 인프라 구축에 사용될 기술의 시험대로 출범하였다. 또한 25개의 EU 회원국은 유럽 우주국의 지원으로 개발될 European Quantum Computing Infrastructure(EuroQCI) 선포서에 서명하였다.

러시아에서는 그간 이룩한 QC 기술의 완성도를 바탕으로 이미 제품 및 서비스의 생산 및 사용화 단계로 넘어갈 수 있게 되었다. 러시아에서 준비도가 가장 높은 분야는 광섬유 채널을 통한 양자 키 전송 기술(러시아 철도에 따르면 기술 성숙도 8단계, TRL-8)로, 이는 세계 첨단 수준에 해당한다. 수많은 솔루션에 대한 파일럿 테스트는 로스텔레콤, 러시아 철도 및 기타 러시아 기업의 현장에서 수행되었다.

초전도 단일 광자 검출기 개발 및 생산 분야에서는 최고 수준의 기술 성숙도를 달성하였다(러시아 철도에 따르면 TRL-9 획득). 이러한 기술은 높은 양자 효율성(90% 이상), 빠른 성능 및 저소음 등의 고유한 특성 때문에 장거리로 양자 키를 전송하는 광섬유 트링크 라인에 사용하는 것이 가장 적합하다.

수많은 연구와 시험은 러시아 장비를 기반으로 모스크바, 상트페테르부르크, 카잔, 사마라 및 기타 러시아 도시의 양자 네트워크 시험 현장에서 수행되었다. 모스크바-상트페테르부르크 트링크 양자 네트워크의 한 파일럿 네트워크 구간은 러시아 북서부 및 중부 연방 지구의 데이터 처리 센터를 연결하기 위해 러시아 철도의 광섬유 인프라를 기반으로 구축되었다. 파일럿 네트워크 구간은 길이, 데이터 전송 속도 및 FOCL를 통해 연결된 중간 노드 수준의 특성면에서 해외의 것과 유사하거나 우수하다. 러시아의 향후 양자 통신 기술 개발에 있어서 시급한 작업은 개발된 제품 및 시스템을 인증하기 위한 조치를 시행하는 것이다.

2021년에는 장거리 트링크 라인용 기술 및 장치를 개발하는 과제, 신뢰할 수 없는 통신 노드 및 광학 메모리 기반의 양자 리피터를 통해 QKDS를 구축하는 과제, 그리고 교차 상태를 통해 지속적으로 다양한 QKD 프로토콜 및 양자 통신 프로토콜을 시행하는 과제들이 시작되었다.

네트워크의 모바일 배치를 위한 우주 QC 시스템의 신속 작업은 대기 및 우주 통신선 개발의 방향내에 계획되어 있다. 이외에도 광자 집적 회로를 기반한 QC 장치와 양자 및 정보 채널 멀티플렉서, 기업 네트워크 및 데이터 처리 센터용 QKDS 모듈과 같은 클라이언트 장치가 개발될 것이다.

13. <https://quantumxc.com/what-are-quantum-networks-and-how-do-they-work>

14. 대통령의 2021 회계연도 추경 예산에 따른 국가 양자 이니셔티브.
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Hu899rtEJTOJ:https://www.osti.gov/servlets/purl/1638794+&cd=3&hl=ru&ct=clnk&gl=ru;>

15. https://sktelecom.com/en/press/press_detail.do?page.page=2&idx=1503&page.type=all&page.keyword=

16. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/home>

17. <https://openqkd.eu>

국가 지원

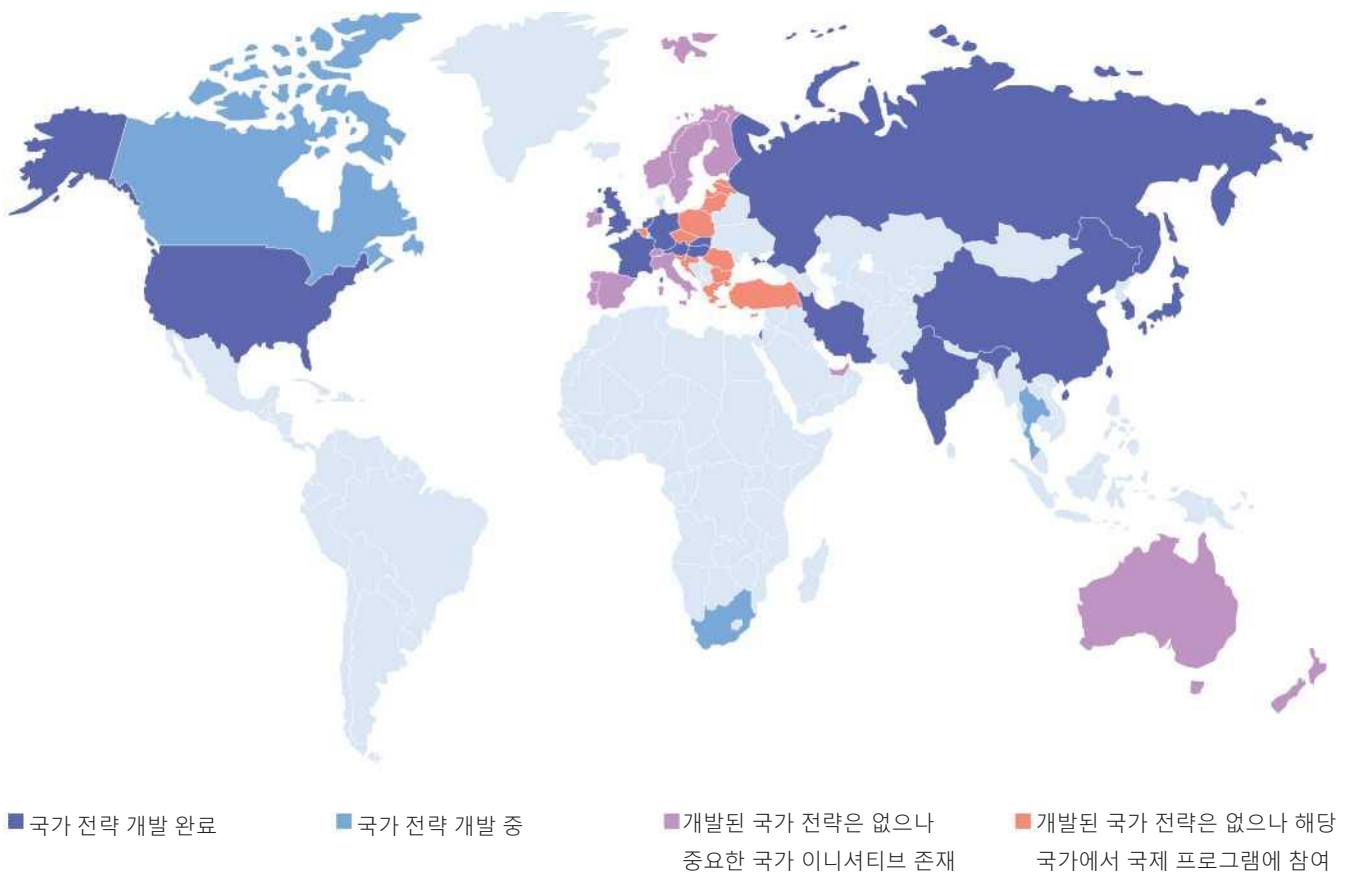
선진국들은 혁신적인 QC 기술을 개발하기 위해 국가 양자 프로그램 및 전략을 구축하고 이를 실행하기 위해 상당한 자금을 투입하고 있다(그림 6). QC 분야에서 성공을 거둔 대부분의 국가들은 이러한 첨단 기술 분야의 발전을 지원하기 위해 설계된 완전한 에코시스템을 구축하였다. 이러한 에코시스템은 특히 과학 기술 연구기관, 개발자 및 장비 제조업체, 통신사업자, 교육 기관, 연구개발 지원 재단, 공기업 및 사기업(잠재적인 기술 소비자)으로 구성된 협업 및 컨소시엄을 포함한다. 조직의 지역적 클러스터는 트렁크 QN 구현을 위한 시험장을 기반으로 형성된다.

중국 양자 기술 발전의 중심에는 국립 양자정보과학 연구소가 있다. 중국은 2015년부터 Made in China 2025 프로그램을 추진하고 있는데, 기술 개발의 우선순위로 양자 기술이 강조되고 있다. 주요 목표는 국내 혁신에 기반한 경제 성장으로 중국의 외국 기술 및 투자 의존도를 줄이는 것이다.

미국은 국가 양자 이니셔티브를 지원, 조정하기 위해 국립 양자 사무국을 창설하였다. 동 사무국은 컨소시엄과 연구 센터(약 10개 조직) 간의 상호 연계를 도모한다. 또한 미국의 양자 경제 개발 컨소시엄은 미국 양자 산업을 지원하기 위해 창설되어 100개 이상의 조직(Amazon, AT&T, Cisco 등)으로 구성되었다. 국가 양자 이니셔티브는 다음 5개 분야에 주요 프로그램을 추진하고 있다: 네트워크, 센서 및 계량, 컴퓨팅, 기초 연구 및 기초 기술 등. 2021년 이 프로그램에 투입된 총 예산은 미화 7억 달러였다. 또 교육 프로그램을 증진하고 인재 풀을 구축하며 학생들을 공기업 및 사기업과 연결해 견습 및 고용 등 상호 연계를 도모하기 위해 도록 국가 Q-12 교육 파트너십이 구축되었다.

캐나다에서는 양자 알고리즘 연구소(Quantum Algorithm Institute)가 양자 기술의 혁신 및 상용화 촉진을 책임지고 있다. 캐나다 정부는 동 프로그램을 지원하기 위해 미화 220만 달러를

그림 6. 전 세계 양자 기술 발전을 위한 국가 전략



출처: CIFAR.

투입하였다. 또한 선도적인 캐나다 기업들(1QBit, AFT, CEW System Canada Inc, CogniFrame 등)은 양자 산업 캐나다 프로그램)을 추진하고 있다. 캐나다 정부는 Quantum EncryPtion 및 Science Satellite(QEYSSat) 연구 미션을 위해 양자 컴퓨팅 연구소(Institute for Quantum Computing)에 약 150 만 달러를 지원하였다. 동 연구는 우주선과 지상기지 간의 데이터 연결 보안을 증진하는 것을 목표로 한다.

국가 지원 및 개발 프로그램 외에도 2018 년 EU 는 유럽 최대의 QC 이니셔티브(Quantum Flagship)를 출범하였다. 이는 약 5,000 명의 연구진이 참여하는 100 개 이상의 연구과제를 지원하고 있다. 이의 조정을 위해서 프랑스, 독일, 이탈리아, 네덜란드, 스페인, 스위스 등의 양자 기술 분야 연구 기관과 기업들로 이루어진 QFlag 컨소시엄이 구축되었다. 동 프로그램은 10 년 간 10 억 유로의 예산을 투입하는 것으로 출범되었다.

2021년 유럽 연합은 2027년까지 양자 기술 개발에 최소 45 억 유로를 투입한다는 계획을 세웠다.

자금은 여러 프로젝트로 배분된다. 그중 하나는 EuroQCI 컨소시엄 내 향후 QC 네트워크의 개발이다. 동 네트워크는 2027년까지 EU 국가 간 긴밀한 정보의 안전한 교환을 보장할 전망이다.

유럽에서는 또한 OpenQKD 컨소시엄이 형성되었다. 이의 주요 목표는 양자 통신 시험 인프라를 구축하고 여러 부문(통신사업에서 전력 산업 및 의료산업까지)의 주요 적용 사례에 대한 보안을 향상시키는 것이다. 2021년에는 유럽 컨소시엄인 Quanteria II 도 구축되어 양자 주력 프로그램 연구에 대한 자금을 지원한다. 동 프로그램의 주요 목표는 국가 간 협력을 강화하고 학제 간 연구를 촉진하며 유럽 내 국가 및 지역별 연구계를 통합하는 것이다.

영국에서는 2013년 국가 양자 기술 프로그램이 승인되었다. 여기에는 정부, 연구 위원회, 국립물리연구소, 국방부, 국립 사이버 보안 센터가 참여하고 있다.

동 프로그램의 목표는 기초 이론 연구의 결과를 제품 및 서비스 시장으로 이전하는 것이다. 프로그램은 각 해당 과학 센터가 개발을 담당하고 있는 네 가지 양자 영역(통신, 센서, 모델링, 시각화)을 강조하고 있다. 영국에서 QC 는 영국의 대학과 산업 파트너 그리고 관심 있는 공공 기관의 컨소시엄인 양자 통신 센터가 담당하고 있다. 2014년부터 2018년까지 QC 개발에 2,400만 파운드(양자 기술 개발 총 예산의 약 20%)가 투자되었다.

독일에서는 연방 교육연구부와 연방 경제에너지부, 연방 내무부 그리고 연방 국방부와 함께 양자 기술을 담당하고 있다. Unified program Quantum Technologies—From Basic Research To Market(통합 프로그램 양자 기술 - 기초 연구에서 시장까지)은 컴퓨팅 및 모델링, 통신 및 암호 작성, 측정 및 감지기술, 그리고 기초 기술 등 양자 기술 연구의 네 가지 우선 순위 연구를 강조한다. 동 프로그램에 대한 예산은 2018년부터 2022년까지 원래 6.5억 유로로 책정되었다. 당 예산은 2022년 11억 유로로 확대되었다. 동 프로그램은 향후 2028년까지 연장될 수 있다. QuNET 이니셔티브 또한 주목할 만하다. 이는 양자 통신 네트워크를 위한 광자 기술 연구를 촉진하는 것을 목적으로 한다. 2019년에는 2,500만 유로가 여기에 투입되었다(2026년까지 총 투입 예정 금액은 1.25억 유로이다).

스위스는 스위스 국립과학재단과 이노스위스(Innosuisse) 혁신 진흥청을 통해 양자 기술 개발을 지원하고 있다. '양자 과학 기술 프로그램'은 이들의 주도로 구축되고 있다. 동 프로그램의 지원을 위해 국립 역량 센터가 설립되었으며, 그 활동은 암호화, 컴퓨팅 및 기초 물리학의 새로운 패러다임에 대한 개발을 목적으로 한다. 2019년부터 2021년까지의 동 센터의 총 예산은 5,000만 스위스 프랑으로 추정되며, 그중 30%는 센터 자체에서 지원하고, 나머지는 과학 및 산업 파트너 기관(ID Quantique, Zurich Instruments, Qnami, IBM 등)들이 지원한다.

러시아에서는 (동 분야의 개발을 위해) 러시아 철도와 러시아 연방 정부 간 체결된 협력의향서 이행의 일환으로 러시아 철도가 선도적인 단체 및 전문가 커뮤니티와의 공동작업을 통해 도출한 양자 통신 기술 로드맵에 따라 양자 통신 분야 기술 개발이 촉진되고 글로벌 기술 시장에서 선두 지위를 점하기 위한 상호 협력이 조정되고 있다.

로드맵은 2021년부터 2022년까지 약 30개 활동의 추진 개시를 규정하고 있으며, 이를 통해 로드맵에서 규정한 9개 양자 통신 우선순위 기술을 기반으로 10개 이상의 제품 및 서비스가 개발되어 시장에 출시될 것이다.

로드맵이 설정한 양자 통신 첨단 기술 분야 개발의 주 목표는 러시아가 양자 통신 분야에서 기술, 제품, 서비스의 선두 주자가 되는 것이다. 이를 달성하기 위해서는 다음 3가지 주요 과제를 먼저 해결해야 한다:

- 개발 기술 수준을 세계 수준으로 끌어 올리는 것 (키의 생성속도 및 배포 범위, 양자 및 정보 채널의 멀티플렉싱, 대기 및 우주 통신선 개발 등),
- 인프라 구축(트렁크 네트워크, 지역 네트워크, 제어 및 모니터링 센터 등),
- 생태계 구축과 재화 및 서비스 시장의 형성(교육훈련, 국가 및 국제 표준, 정보 홍보 및 전문 커뮤니티, 시장 개발, 규범적 규제 도출 등).

양자 통신의 확산은 디지털 경제 인프라의 보호를 증진할 것이다. 이는 정보 보안 분야에 최신 위협이 도사리는 상황에서 특히 중요하며, 러시아 연방의 과학 및 기술 개발 전략 실행에도 기여할 것이다.

발전 전망

양자 통신의 개발은 일부 보호 클래스에 대해 생성된 키의 비밀 보장과 장비의 신뢰성 향상 등을 목표로 한다. 개발된 주력 제품(양자 통신 네트워크, 신뢰할 수 없는 중간 통신 노드, 대기 및 우주 통신선, QC 클라이언트 장치 등)들은 산업계에서 상업화와 실행 전망이 넓다.

양자 통신 시장의 주요 비중은 현재 양자 통신 네트워크의 기능을 보장하는 장치(광섬유 QKDS, 양자 보안키 서버, 광자 방사전소스 및 감지기 등)가 차지하고 있다. QC 기반 제품 및 서비스에 대한 수요는 금융 산업, 전자통신, 의학, 핵심 인프라 제어, 운송교통, 공공 행정 등의 업계에서 가장 높다.

국제 실무에 따르면 가장 효율적인 양자 통신 기술 및 시장 개발은 에코시스템을 형성하고 모든 시장 참여자(연구 및 교육 단체, 장비 개발자 및 제조업체, 통신사업자, 개발 기관, 인증 기관, 그리고 국가 및 상업 조직 등 최종 소비자) 간의 완전한 협력 사슬의 구축을 통해 이루어진다. 이러한 작업의 일반적인 조직 형태는 양자 통신 기술 실행에 관심이 있고 연구 센터 및 대학에 자금은 물론 인프라까지 지원할 준비가 되어 있는 산업계를 기반으로 하는 특별 컨소시엄의 조직이다.

전 세계 양자 통신 개발의 동향과 그간 달성한 결과, 그리고 국내 단체들의 계획을 고려하면 러시아에서 개발된 다양한 기술 및 주력 제품은 정보 보호, 저장 및 전송 시장에서의 소비자 니즈를 충분히 만족할 것으로 예상된다. 연구 기관들의 지원을 받은 장치 제조업체 및 QC 솔루션 개발자들은 QKD 서비스와 양자 보안 데이터 채널에 대한 기성 시스템을 2024 년까지 시장에 출시할 것으로 예측되고 있다.

동 분야는 과학 집적도가 매우 높고 해결해야 할 기술 과제들이 광범위하기 때문에 2025 년부터 2030 년까지 양자 통신 개발을 위한 국가차원의 지원 메커니즘은 물론 과학 및 기술 개발에 대한 조정 계획을 더욱 세분화하는 것이 바람직하다. 현재 관련 작업은 러시아 과학 아카데미, 유관 연방 행정 당국 그리고 기타 생태계 참여자들이 함께 추진하고 있다. 양자 통신 개발을 지원하기 위한 메커니즘은 러시아 철도공사 (Russian Railways JSC)의 인터넷 사이트에 이미 구축되어 동 생태계 모든 참여자들의 통합을 지원하고 있다. 특히 주요 연구 및 교육 기관들의 대표가 참여하여 과학 기술 연구과제에 대한 공개 공모가 시행되었다.

분산원장 기술



약어

DLT	분산원장 기술
CBDC	중앙 은행 디지털 화폐
DeFi	탈중앙식 금융
L2 솔루션 (2 차 레이어/레벨 솔루션)	블록체인 네트워크 설계용 아키텍처 도구

분산원장 기술(DLT)은 참여자 간의 거래, 합의, 계약의 디지털 원장에 대한 탈중앙식 저장소를 제공하며 승인되지 않은 변경 및 삭제를 허용하지 않는다. 오늘날 DLT 는 재산권 및 부동산 거래 기록을 지원하여 물류 및 생산 비용을 절감하는 등 금융, 문서 및 데이터 저장, 의료 부문에서 이미 성공적으로 사용되고 있으며, 정부 디지털화 및 개인의 디지털 인식에도 중요한 역할을 하고 있다. 이에 따라 많은 비즈니스 절차에 대한 재고와 디지털 경제 발전에 상당한 기여를 할 수 있다. DLT 와 블록체인은 비교적 새로운 기술이지만 이미 전 세계적인 규모로 확산되고 있다는 점은 자명하다.

분산원장 기술은 경제주체 상호간 관계의 디지털화와 개인 당사자간 신뢰의 공간을 형성하는데 점점 더 중요해지고 있다.

러시아 분산원장 분야 로드맵¹은 분산원장 기술의 첨단 기술 분야 개발에 대한 로스텍(Rostec State Corporation)과 러시아 연방 정부의 협의의 일환으로 구축되었다. 로드맵은 러시아 DLT 생태계 발전, 긍정적인 규제 환경과 기술 인프라, 그리고 오픈 코드 모델에 기반한 소프트웨어 사용 등의 도구 및 솔루션을 규정한다.

본 장은 DLT 연구 및 개발 어젠다 개요를 포함한 전 세계 및 러시아의 분산원장 기술에 대한 첨단 기술 분야의 개발 결과와 전망에 관한 평가를 제공하고, 시장에 존재하는 핵심 DLT 기반 솔루션을 제시하며, 해당 영역의 개발을 위한 주요 국가 지원 조치를 체계화하였다.

분산원장 기술이란?

분산원장 기술은 악의적인 간섭으로부터 데이터를 보호하고 신뢰할 수 있는 디지털 환경을 형성하며, 실물 대상을 디지털화하여 블록체인으로 전송할 수 있게 해 준다. 이러한 아키텍처의 주요 이점은 모든 프로세스의 보안, 신뢰성, 그리고 투명성이다. DLT 에는 데이터 구성 및 동기화 기술, 데이터 진실성 및

일관성(컨센서스) 기술, 탈중앙식 애플리케이션 및 스마트 계약 생성 및 실행 기술 등 여러 핵심 기술군이 포함된다.

분산원장 기술 개발에 대한 관심은 지속적으로 높아지고 있다. 이는 2014 년부터 2020 년까지 전 세계에서 발간된 과학 간행물의 수가 3 배까지 증가한 것으로 알 수 있다(그림 1).

¹분산원장 기술에 대한 기술 로드맵(Technology Roadmap of Distributed Ledger Technologies)은 2020 년 12 월 8 일자 삶의 질 및 비즈니스 환경 개선을 위한 정보 기술 사용 제 31 호에 게재된 디지털 개발 정부 위원회 상임 회의록에서 승인됨. 2019 년 7 월 10 일에 제정된 러시아 연방 정부 및 로스텍 간의 협정의향서 실행을 위한 주요 메커니즘, 2019 년 7 월 8 일에 제정된 분산원장 기술 개발을 위한 러시아 정부 행정명령 제 1484-r 호에 따라 체결됨.

그림 1. 간행물 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

2018 년에서 2020 년까지 동 지표에서 가장 많은 비중을 차지하고 앞서 나가는 국가는 중국(6,114 건), 미국(5,296 건), 인도(3,677)로, 전 세계 총 과학 간행물 수의 약 절반을 차지하고 있다. 러시아의 비중은 4 배 이상 증가하여 2.1%에 도달하면서 DLT 분야 간행물 활동 상위 15 개 국가 안에 들었다.

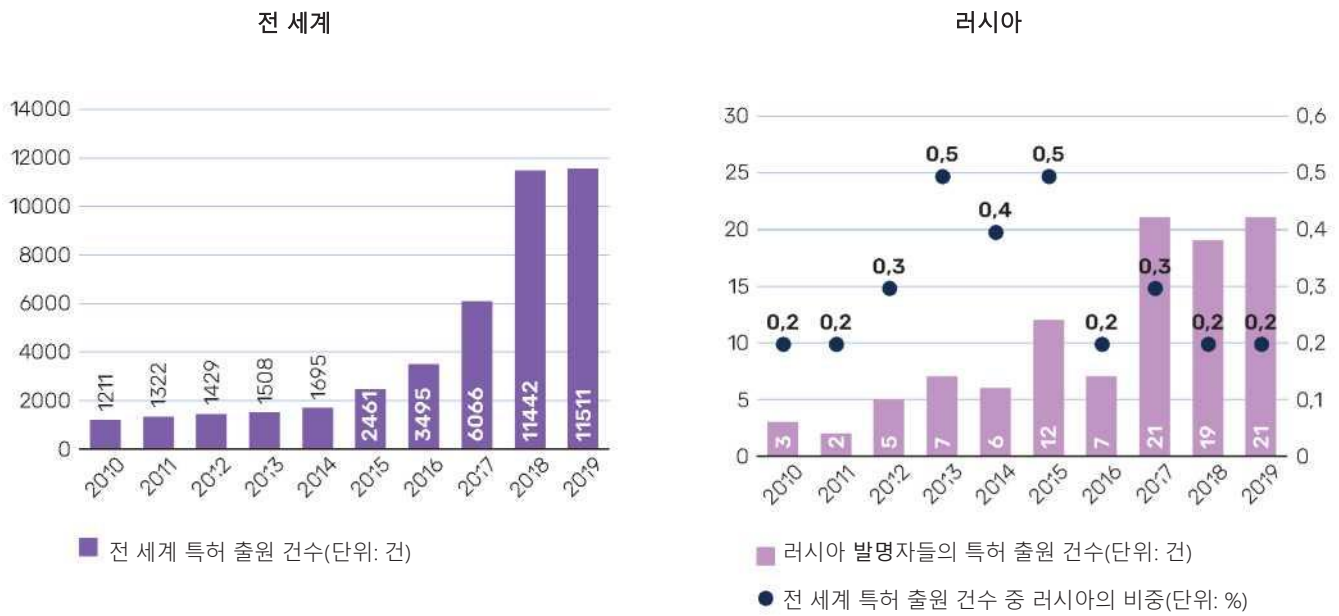
지난 몇 년 동안 DLT 분야의 특허 출원 활동은 폭발적으로 증가하여 2014 년에서 2019 년까지 5 년간의 특허 출원 수는 약 7 배 늘어났다(그림 2). 동 지표에서 확실한 선두 주자는 중국이다(전 세계 특허 출원 수의 절반 이상). 나머지 상위 5 개 국가는 미국, 한국, 일본, 독일이다. 러시아의 경우도 특허 출원수가 증가하고는 있지만 절대적인 출원 수에서 전 세계 수치의 1% 미만으로 비교적 적은 편이다.

분산원장 기술분야에서 가장 높은 특허 활동 수치를 보이고 있는 기관들은 디지털 및 금융계의 다음 대기업들이다: 알리바바 그룹(2017 년부터 2019 년까지 특허 출원 1,850 건), IBM(623 건), nChain(486 건), 텐센트 테크놀로지(420 건), 항저우 푸자메이 테크놀로지사(163 건) 등.

블록체인 기반 플랫폼은 IBM, Google, Microsoft, Oracle, PayPal, 사우디의 아람코, Visa, Walmart, Louis Vuitton, Christian Dior 과 같은 선도적인 글로벌 기업들에 의해 구현되고 있다. 블록체인 스타트업들은 2021 년 상반기에 미화 약 70 억 달러, 그리고 그 이전까지 (2020 년까지) 미화 약 224 억 달러를 유치한 것으로 추정된다.²

² <https://www.comnews.ru/content/215877/2021-08-10/2021-w32/komu-blokcheyn-byt-khorosho>

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

분산 원장 기술의 개발은 광범위한 분야의 경제성장에 상당히 기여할 것이다. 예측에 따르면 2030 년까지 DLT 는 글로벌 GDP 를 미화 1.8 조 달러까지 성장시킬 전망이다. 이 수치는 재화 및 서비스 모니터링 및 공급망 관리에 미화 9,600 억 달러, 그리고 금융분야³에 미화 4,300 억 달러를 포함한다.

³ <https://www.pwc.ru/ru/press-center/2020/blockchain-technologies.html>

기술

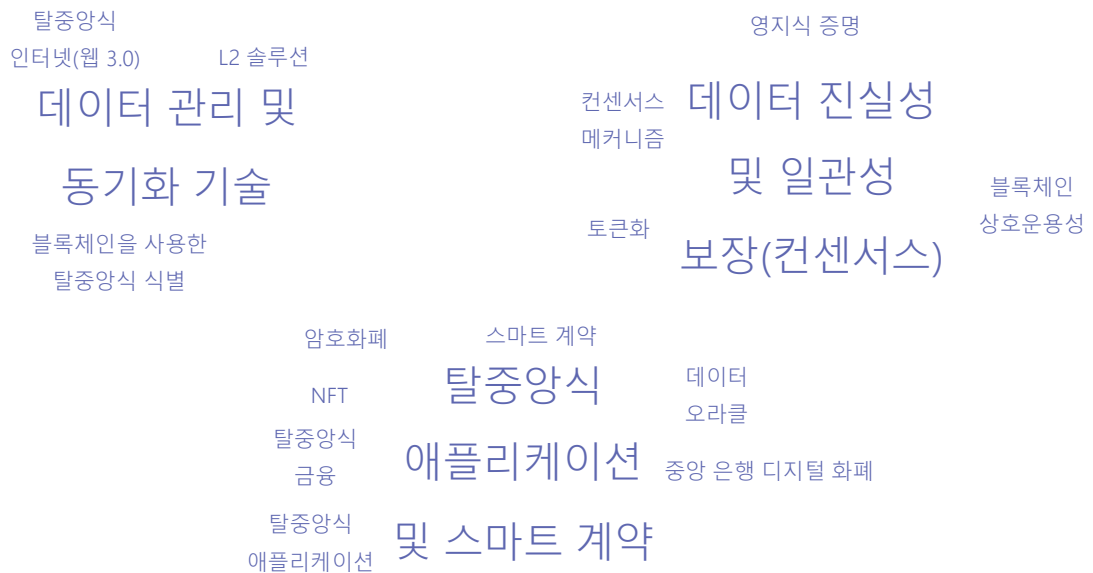
DLT 는 아직 걸음마 단계인 디지털 기술분야에서 가장 최신 트렌드 중의 하나이며, 그 구조화에 대한 접근법도 마찬가지이다. 이는 기능적으로 데이터 구성 및 동기화, 데이터 진실성 및 일관성 보장, 탈중앙식 애플리케이션 및 스마트 계약 등 세 가지의 기술군으로 구성된다(그림 3). 분산원장 기술은 다시 프로토콜 및 컨센서스 알고리즘으로부터 애플리케이션의 생성까지 분산원장 아키텍처의 구축 수준에 따라 구조화될 수 있다.

데이터 구성 및 동기화 기술은 블록체인 네트워크의 생성 및 설계를 위한 DLT 도구를 통합한다. 탈중앙식 인터넷 또는 웹 3.0 은 사용자가 제공하는 개인 정보를 완전히 통제할 수 있는 탈중앙식 웹 애플리케이션 개발을 위한 기술을 포함한다. 블록체인은 검증을 위해 사용되며, 분산원장은 데이터를 저장하는 데 사용된다. 데이터 전송 프로토콜은 서로 다른 여러 시스템 간의 상호 작용을 보호하고 그 가능성을 보장하는데, 이는 탈 중앙식 금융분야를 포함한다.

2 차 레이어 또는 L2 솔루션은 핵심 네트워크의 부하를 줄이고 다양한 시나리오 및 블록체인 네트워크 매개변수가 있는 복잡한 프로젝트의 기술적 요건을 보다 잘 충족할 수 있다. 이 블록체인 아키텍처 설계 도구는 추가적인 레이어 2 네트워크를 통해 주요 블록체인 기능 일부를 실행하는 기능을 제공한다.

탈중앙식 식별의 개념을 적용함으로써 사용자는 독립적으로 개인 데이터를 저장하고 개인 정보에 대한 접근성을 온전히 제어할 수 있다. 이를 통해 사용자는 본인의 개인 정보가 배포되는 시기 및 방법을 결정할 수 있게 된다. 예를 들어 사용자는 신용카드 정보를 본인의 전자 지갑에 저장한 다음 개인 키를 사용하여 거래에 서명하고 수신자에게 정보를 전송할 수 있다. 이를 통해 카드의 실제 소유주가 거래를 수행했음을 증명할 수 있게 된다.

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조



출처: 국영기업 로스텍, HSE 대학 통계 연구 및 지식 경제 연구소

데이터 저장 및 전송의 신뢰성과 투명성을 보장하는 DLT의 핵심 기능은 데이터 진실성 및 일관성 기술(컨센서스)을 통해 실행된다. 예를 들면 제로-지식 증명 방법은 정보를 공개 또는 전송하지 않고도 정보의 소유를 검증할 수 있다. 동 기술은 암호화 알고리즘의 형태로 실행되는데, 1980년대부터 개발되어 왔다. 개발자들은 더욱 신뢰할 수 있는 실행 방법을 제시하여 인증자에 대한 부정 행위를 저지를 수 있는 가능성을 줄여 주고 있다 - 현재 무시할 수 있을 만큼 적은 비율로 감소하였다.

블록체인 기반 솔루션이 경제 및 사회 부문에서 더욱 넓게 확산되면서, 플랫폼 간 통합의 문제는 점점 더 중요해지고 있다. 블록체인의 상호운용성을 제공하는 도구에 대한 수요 또한 점차 증가하고 있다. 블록체인 상호운용성 도구의 수요가 증가하면서 다양한 분산원장에 구축된 블록체인 플랫폼들은 상호 작용하며 데이터를 교환할 수 있게 해준다. 다른 정보 시스템과 비교했을 때 블록체인의 상호운용성은 특히 중복 거래의 위험을 고려할 필요성 때문에 중요하다.

모든 블록체인 네트워크의 근본적인 특징은 컨센서스 메커니즘이다. 이들은 네트워크의 탈중앙식 구성 요소인 모든 노드에 대한 규칙을 도출하여 데이터가 포함된 거래를 조정, 작성 또는 거부하게 한다. 특정 블록체인 네트워크에 대해 선택된 컨센서스 메커니즘은 계획된 적용 시나리오, 규모, 대역폭 및 기타 매개변수에 따른다.

토큰화는 일상 비즈니스 프로세스와 블록체인 플랫폼의 기술적 측면을 서로 연결한다. 이는 물리적 자원 또는 금융 상품을 블록체인 토큰에 연결하도록 지원하는데, 동 토큰은 소유 혹은 저장 사실을 확인하는 데 사용된다. 자산의 토큰화는 거래의 보안성을 상당히 증진할 수 있도록 하며, 새로운 유형의 금융 상품을 창출하는 기반이 된다.

DLT는 이미 상당히 광범위한 응용 분야를 가지고 있다. 이의 실행을 위한 프로젝트는 잦은 경우 스마트 계약 및 탈중앙식 애플리케이션(dApps)의 생성 및 실행과 관련이 있다. 이러한 웹 애플리케이션은 P2P 네트워크 및 블록체인을 통해 사용자 간의 직접적인 상호 작용을 가능하게 한다. 모든 운영이 중앙 집중식 서버에서 제어되는 표준 애플리케이션과는 달리 dApps는 제 3자의 필요성이 없기 때문에 웹 3.0의 기본 원리를 실현한다.

현재 이미 광범위하게 사용되는 분산원장 기술 중 하나는 스마트 계약이다. 이는 프로그램 코드를 포함하는 블록체인 네트워크의 기록인데, 이를 통해 블록체인 애플리케이션이 실행된다. 블록체인 네트워크내의 특정 사건들은 스마트 계약의 실행을 작동시키며, 정해진 프로그램 코드에 따라 동작을 일으키고, 이어 다른 사건 또는 스마트 계약을 작동시킨다.

데이터 오라클은 블록체인 애플리케이션의 필수적인

요소이다. 그 기능은 블록체인 네트워크와 주변 환경 간에 정보를 전송하는 것이다. 이것이 필요한 이유는 블록체인 구성의 원리에 있는데, 데이터는 순차적으로 거래의 형태로 전송된다.

최근 대체 불가능 토큰, 즉 NFT를 사용하는 솔루션들은 빠르게 인기를 얻고 있다. 토큰은 물체의 진위를 확인하는 디지털 인증서와 유사하며, 지적재산권 보호의 보장에 데 도움이 된다. 토큰 소유에 대한 사실은 이미지, 영상, 오디오 또는 기타 디지털(일부의 경우 물리적인) 자산에 대한 소유권을 인정한다.

금융 부문은 주요 적용 분야 중 하나이다. 이미 수많은 솔루션이 여기에서 형성되어 조직적인 프로세스를 최적화하고 획기적인 발전을 이룩할 수 있게 되었다. 탈중앙식 금융(DeFi)의 개념은 스마트 계약을 활용한 금융 서비스와 공개 블록체인 네트워크에서 실행되는 탈중앙식 오픈소스 애플리케이션을 기반으로 형성되고 있다. DeFi 서비스는 사용자에게 투자, 대출, 거래소 거래와 같은 다양한 금융 서비스에 대한 접근성을 제공한다. DeFi 생태계는 중앙 집중식 금융 기관, 규제 기관 및 당국의 관여 없이 작동한다.

블록체인 기술의 붐은 암호화폐의 확산과 이들 중 일부 화폐 가격의 폭발적인 상승에 따른 것이다. 이는 일종의 디지털 화폐로, 암호화폐의 내부 계정 단위를 추적하는, 완전히 자동화된 탈중앙식 결제 시스템을 기반으로 한다. 암호화폐 시스템의 주요 특징은 참여자들의 익명성과 거래의 비교환성이다.

중앙 은행 디지털 화폐(CBDC)는 DLT에 기반한 국가 금융 시스템의 일환으로 구축될 수 있다. 이는 통화 규제자의 전자식 의무로 국가 계정 단위로 표시되며 결제, 측정 및 가치 보존의 수단으로 작용한다. CBDC는 빠르게 발전하는 디지털 및 암호 경제에서 국가의 지위를 강화하고, 중간 비용을 절감하여 재정적 참여를 증진하며, 투명성을 통해 통화 분야에 대한 국가 통제를 간소화할 수 있다.

따라서 분산원장 기술은 각 솔루션의 확장이나 상용화 준비 수준면에서 상당한 차이를 보인다. 그러므로 탈중앙식 인터넷 기술은 여전히 개념 단계에 있는 반면, 탈중앙식 애플리케이션과 암호화폐는 특정 제품 및 서비스의 형태로 이미 시장에서 비교적 광범위하게 나타나고 있다. 기술 성숙도 곡선은 현재의 DLT 발전 단계를 보여주고 있다(그림 4).

전 세계 중앙 은행들은 디지털 화폐(CBDC)를 발행함으로써 어떻게 분산원장 기술을 사용하여 국가 결제 인프라를 개선할 수 있는지 탐색하고 있다. CBDC도매 디지털 화폐는 중앙 은행과 상업 은행 간의 거래의 결제 효율을 높이는 데 도움이 될 수 있으며, 반면 소매 화폐는 공용으로 사용될 디지털 지폐와 상응할 수 있다.

다른 금융 기관들도 실험을 수행하고 있다. 일례로, Stablecoin은 국제결제를 변모시키기 위한 새로운 디지털 도구로

사용되고 있다. 이들은 일반적으로 불환지폐(예: 정부 통화) 또는 다른 물리적 자산을 담보로 보장되고, 블록체인상에 운영될 수 있는 토큰이다. 이들은 송금 수수료를 절감시키고 거의 즉각적인 거래를 가능하게 한다.

DLT의 다단계 기술 구조(그림 5)는 이러한 기능을 발휘할 수 있게 한다. 가장 광범위한 범주는 프로토콜 수준 기술, 데이터 구조 및 컨센서스 알고리즘으로 이 단계에서 가장 활발한 특허 활동이 이루어지고 있는 것이 관찰된다. 반면 애플리케이션 단계의 기술은 그 개발이 이미 특허를 받은 다른 단계의 많은 솔루션을 활용해야 하기 때문에 응용 연구 분야에서 아직 잘 나타나지 않고 있다. 그럼에도 당 부문에 대한 연구자들의 관심은 상당히 높아졌다. 2015년부터 2020년까지 전 세계 과학 간행물의 수는 7배 이상 증가하였다.

분산원장 기술의 도입에 따른 가장 큰 혜택은 공공 행정, 교육, 보건 부문에서 나타날 것으로 예상된다. 2030년까지 신분 및 자격 데이터 관리에 DLT의 도입으로 인한 이들 부문의 총 혜택은 미화 5,700억 달러를 초과할 것으로 예측된다.⁴

분산원장 기술은 계약을 체결하고 분쟁을 해결하는 데 효과적으로 사용될 수 있다. 2030년까지 전 세계 GDP에 대한 DLT 응용 분야의 기여 전망치는 미화 700억 달러를 초과한다.⁵ 클라이언트와의 상호 작용은 분산원장 기술 발전의 또 다른 유망 분야의 하나로, 2030년까지 전 세계 GDP를 미화 500억 달러 이상 증가시킬 수 있다.⁶

DLT 기반 솔루션은 기존의 결제 카드 로열티 프로그램과 고객 격려 프로그램을 새로운 품질 수준으로 끌어 올릴 수 있게 한다. 분산원장 기술은 고객과의 관계를 Salesforce, HubSpot CRM 및 Microsoft Dynamics 365 Sales 등 CRM 플랫폼과 통합함으로써 활성화하고, 이들 플랫폼을 보다 사용자 친화적으로 만듦으로써 더 효과를 얻을 수 있을 것이다.

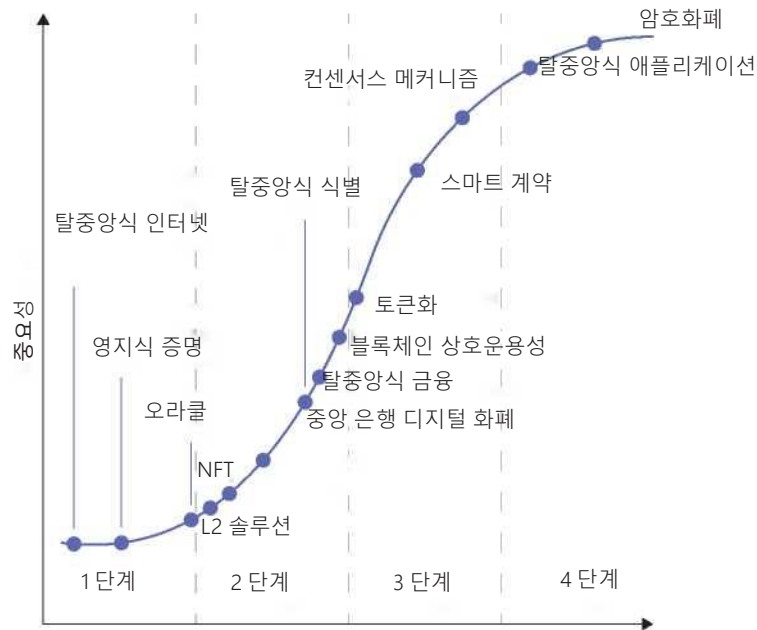
기술에 기반한 ID 관련 제품의 분산원장 실행으로 세계 GDP는 미화 2,200억 달러 이상 성장할 수 있을 것이다.⁷

⁵ <https://www.pwc.ru/ru/press-center/2020/blockchain-technologies.html>

⁶ Ibid.

⁷ <https://www.pwc.ru/ru/publications/collection/blockchain-time-for-trust.pdf>

그림 4. 기술 성숙도 곡선



출처: 로스텍, HSE 대학 통계 연구 및 지식 경제 연구소

방법론. 중요성은 기술 성숙도 수준을 특징 지으며, 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)에서 지정된 기간 내의 기술에 대한 표준화된 언급을 반영한다. 연구개발의 집중도에 따른 4 단계는 다음과 같다.

- I 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- II 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- III 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- IV 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

분산원장 기술은 신분증, 전문 교육 문서 등의 개인 정보를 보호하는 동시에 비용을 현저하게 줄이고 부정 행위 및 데이터 탈취행위를 방지하는 데 도움을 준다.

러시아에서는 암호화폐의 인기가 급등한 2017 년부터 블록체인에 대한 관심이 높아졌다. 그 이후로 DLT 기반 솔루션을 개발하기 위한 많은 파일럿 프로젝트가 착수되었다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

방법론. 특허 및 출판 활동 분석을 위해 기술 분야는 세 가지 계층으로 분류됨.

프로토콜 데이터 구조 및 컨센서스 알고리즘 계층 (탈중앙식 인터넷, L3 솔루션, 영지식 증명, 블록체인 상호운용성, 컨센서스 메커니즘 포함).
네트워킹 계층 (탈중앙식 식별 포함).

애플리케이션, 서비스 및 추가 구성 요소 계층 (토큰화, 데이터 오라클, 탈중앙식 금융, 암호화폐, 중앙 은행 디지털 화폐, NFT, 탈중앙식 애플리케이션, 스마트 계약 포함).

제품 및 시장

현재 DLT 기반 솔루션의 개발은 주로 공개 및 비공개 두 가지 유형의 플랫폼 구축과 이의 개선을 통해 이루어지고 있다. 이를 기반으로 다양한 애플리케이션 솔루션이 생성되고 있다.

공개 플랫폼은 자유롭게 배포할 수 있는 소프트웨어로 분산 원장의 공개 네트워크 노드에서 작동한다. 동 플랫폼은 네트워크에 연결된 조직의 수와 제안된 솔루션의 혁신 측면에서 가장 큰 역동성을 보여준다.

공개 플랫폼은 크게 두가지 유형으로 나눌 수 있다: 금융 플랫폼 - 한 개인 또는 기관으로부터 다른 사람에게 가치를 이전하는 것을 목표로 하는 플랫폼; 탈중앙식 애플리케이션을 구축하기 위한 플랫폼 - 블록체인 네트워크의 운영을 위한 기초 인프라 계층을 구축하고 이를 바탕으로 다양한 작업을 해결할 수 있도록 탈중앙식 애플리케이션을 구축하는 플랫폼.

탈중앙식 애플리케이션이 제공하는 것은 주로 다음과 같다.

- 탈중앙식 거래소 및 금융 서비스 - 가장 널리 쓰이는 애플리케이션 유형으로 중앙 운영자 없이 디지털 자산을 거래하는 기능과 금융 서비스를 제공한다;
- 고유 디지털 객체(NFT 토큰) - 2020 년에 매우 활발하게 개발되었으며, 전문가들에 따르면 현재 관련 애플리케이션들의 월별 매출이 미화 20 억 달러 이상에 달할 것으로 추정된다;
- 산업 애플리케이션 - 특정 비즈니스 절차의 공개 자동화를 제공한다(예: 공급망 내 연결고리 간 정보 교환)

비공개 플랫폼은 제한된 수의 참여자가 소유하는 노드의 폐쇄형 네트워크에서 작동하는 소프트웨어이다.

비공개 플랫폼은 공개 플랫폼과 달리 정해진 팀에 의해 개발되며 기업 또는 정부 부문에서 가치가 있는 여러 기능을 가지고 있다.

세계 블록체인 플랫폼의 응용에 대한 초점은 금융 부문의 일부 특수 작업으로부터 물류, 공급망 관리, 지식재산권 보호 등 보다 다양한 분야의 솔루션으로 점차 이동하고 있다.⁸

Depository Trust and Clearing Corp(DTCC)는 보안 거래의 정보 저장을 담당하고 있다. 미화 10 조 달러 규모의 신용 파생상품이 포함된 약 50,000 개의 계좌에 대한 정보는 특수 설계된 디지털 분산원장인 AxCore 에 저장되어 있다. AxCore 는 단일 거래 목록에 대한 개방형 접근성을 제공하고 실시간으로 업데이트되며 다층 데이터베이스를 사용하지 않는다.

IBM 과 덴마크 화물 회사 Maersk는 화물 배송을 추적하고 세관 및 금융 정보를 공유하는 블록체인 플랫폼인 TradeLens 를 출시했는데, 여기에는 이미 전세계적으로 100 개 이상의 참가자와 수십개의 항구 및 화물 터미널을 포함한다.

월마트(Walmart)는 블록체인을 사용하여 공급업체의 배송을 추적하고 있는데, 이를 통해 생산, 배송 및 저장 손실을 줄이고 있다. 당사는 이미 블록체인과 관련 50 개의 특허를 등록하였다.

시게이트(Seagate)는 IBM 과의 협업으로 DLT 를 사용하여 위조 제품을 식별하고 있다. 동 프로젝트는 기업의 데이터 드라이브 보안을 개선하는 것이 목적이다. 그 중 수행되는 임무 중의 하나는 하드 디스크 드라이브(HDD) 소프트웨어 부품의 정품 인증이다.

프랑스 명품 대기업인 LVMH(Louis Vuitton 브랜드를 보유한 기업)는 분산원장 기술 AURA 에 기반한 공개 프로젝트를 시작하였다. 동 솔루션은 제조업체로 하여금 상품의 진품 여부를 확인하는 기능을 제공하여 원자재에서 판매 시점까지 생산지를 추적할 수 있도록 함으로써 지적재산권을 보호한다.

러시아에서는 DLT 를 실행하기 위한 프로젝트들이 금융 기관은 물론, 실물 경제 부문의 기업들에 의해서도 시행되고 있다.

러시아 국가결제예탁결제원(모스크바 증권거래소 일원)은 보안 거래를 수행하고 문서를 관리하는 등의 작업을 수행하기 위해 금융 인프라에 블록체인을 도입하고 있다.⁹

스베르뱅크(Sberbank)는 모든 은행 결제를 블록체인으로 이전하는 프로젝트를 실행하고 있다. 블록체인 연구소는 주택 담보 대출, 인수인계, 보험 및 신용장에 대한 프로젝트를 개발하고 있다. 2020 년 하반기, 스베르뱅크는 당 은행의 시스템과 러시아 국가 블록체인 플랫폼인 마스터체인(Masterchain)¹⁰ 을 활용하여 부동산 거래에 대한 전자 대출 시스템의 상업적 운영을 시작했다.

⁸ <https://www.forbes.ru/biznes/374921-50-krupnyh-kompaniy-kotorye-ispolzuyut-blokcheyn-spisok-forbes>

⁹ <https://digit.nsd.ru/articles/nrd-vozglavyaet-protsess-vnedreniya-blokcheyn-tehnologii-v-rossii/>

¹⁰ <https://rns.online/finance/Sberbank-rasskazal-o-vipuske-elektronnih-zakladnih-na-baze-platforni-Masterchein-2020-07-28/>

라이파이젠뱅크(Raiffeisenbank)는 마스터체인 플랫폼의 라이파이젠뱅크(Raiffeisenbank)는 마스터체인 플랫폼의 탈중앙식 예탁 시스템에서 회계 및 저장 기능이 있는 첫 번째 전자식 주택 담보 대출을 시행했다. 마스터체인 플랫폼은 러시아 핀테크 협회가 러시아 중앙은행과 러시아 최대의 금융 기관들과 협업으로 개발하였다¹¹.

노릴스크 니켈(Norilsk Nickel)은 원자재 교역을 간소화하기 위한 DLT 기반 솔루션을 구현하였다. 동사는 팔라듐, 코발트, 구리 본위의 토큰을 발행하여 제조업체에 판매하고 있다. 이외에도 블록체인은 다양한 광물에 대한 기록을 관리하고 있다¹².

가즈프롬 네프트(Gazprom Neft)는 블록체인을 사용하여 화물 이동 및 연료 판매를 포함한 물류 과정을 관리한다. 또한 동사는 항공 주유를 위한 자체적인 블록체인 기반 스마트 연료 시스템을 개발하였다¹³.

러시아 철도(Russian Railways)와 머스크(Maersk)는 복수 모드의 운송시장에서 DLT 를 활용하고 증진하는 운송을 위한 디지털 서비스의 개발에 대한 협력 합의를 체결하였다. 블록체인은 또 기관차의 점검, 유지와 계약 조항의 자동 실행을 보장하기 위한 스마트 계약에도 활용되고 있다¹⁴.

S7 항공은 블록체인 플랫폼을 통해 항공권을 판매하며 이 과정에서 선도적인 은행들과 상호 작용하고 있다¹⁵.

Vladimir Chemical Plant (VHMZ)는 온실가스의 배출량을 기록하는 블록체인 플랫폼을 구축하고 있다¹⁶.

¹¹ <https://www.raiffeisen.ru/about/press/releases/71080/>

¹² <https://www.forbes.ru/biznes/374921-50-krupnyh-kompaniy-kotorye-ispolzuyut-blokcheyn-spisok-forbes>

¹³ https://www.vedomosti.ru/press_releases/2021/05/25/gazprom-neft-zaregistrovala-pervuyu-v-rossii-blokchein-platformu-dlya-oplati-aviazapravki

¹⁴ <https://portnews.ru/news/303660/>

¹⁵ <https://www.rbc.ru/crypto/news/5f4f6fed9a7947e3754a7cd7>

¹⁶ https://www.cnews.ru/news/line/2021-06-21_vhz31-sozdaet_blokcheinplatformu

국가 지원

선진국에서는 공공 및 민간 양 부문에서 분산원장 기술의 실행을 지원하는 것에 대한 관심이 점점 쏠리고 있다.

가장 공통된 DLT 적용 분야 중 하나는 디지털 국가 화폐이다. 2014년부터 세계의 60 여개 중앙 은행들은 CBDC 관련 프로젝트를 시작한 것으로 추정되고 있다. 예를 들어 일본 중앙은행은 2021년 4월, 자체 디지털 화폐 시험의 첫 번째 단계를 시작한 바 있다. 2021년 7월에는¹⁷ 아랍에미리트의 중앙 은행이 자체 CBDC 개발을 발표하였다. 프랑스, 캐나다, 남아프리카 공화국, 우루과이 및 나이지리아에서도 국가 암호화폐를 출시하기 위한 프로젝트가 파일럿 단계에 있다¹⁸. 러시아 중앙은행 또한 디지털 루블화를 만들기 위한 이니셔티브를 시작하였다¹⁹.

블록체인 이니셔티브는 중국에서도 활발한 지원을 받고 있다. 2016년 12월, 중국의 13차 5개년 계획에서 블록체인은 전략적으로 중요한 기술로 지정되었다. 이후 수십 개의 지역 정부는 스마트 시티서부터 환경 보호에 이르기까지 다양한 애플리케이션에 블록체인을 활용한 파일럿 프로젝트를 시작한 바 있다.

2019년 10월 중국은 공공 블록체인 서비스 네트워크(BSN)를 시험한 바 있는데 이는 이미 블록체인 인터넷으로 불리며 2020년 4월에 공식적으로 출시되었다.

공기업이 참여하는 생태계 프로젝트의 출시는 중요한 역할을 한다. 중국 블록체인 서비스 네트워크는 중앙 블록체인 플랫폼으로, 국영 통신사인 중국전신(China Telecom), 중국이동통신(China Mobile), 중국연합통신(China Unicom), 중국은련(China Union Pay) 및 후오비(Huobi) 거래소와 블록체인 기업인 체인 링크(Chain link) 및 코스모스(Cosmos)의 참여하에 구현되고 있다. 플랫폼은 여러 클라우드 리소스, 기본 블록체인 프레임워크, 운영 환경, 키 관리, 소프트웨어 개발 키트 및 게이트웨이 애플리케이션 프로그래밍 인터페이스를 통합하고 있다²⁰. 중국 블록체인 플랫폼은 데이터 교환 서비스, 공동 데이터 처리, 다양한 인증서 저장 등 140개 이상의 전자 정부 서비스를 운영하고 있다.

그 외 중국의 DLT 지원책은 다음과 같다:

- 국가 블록체인 개발 자금 조성;

- 정부 프로그램(예: 블록체인을 기술 인프라에 통합함), 보조금, 장려금;
- 분산원장 기술의 표준화를 위한 국가 기술 위원회의 구성;
- 디지털 위안화의 출시 - 2019년부터 파일럿 프로그램의 일환으로 중국 내 일부 도시에 도입되었으며 2021년 11월부터 전국으로 확대 적용.

제한 조치도 취해지고 있다: 2021년 중국인민은행은 개인 및 단체의 암호화폐 채굴과 해당 산업에 대한 투자를 전면 금지시켰다²¹.

미국은 다음과 같은 다양한 DLT 이니셔티브를 도입하였다:

- 의회 블록체인 간부회의 구성;
- 블록체인 협회 설립;
- DLT 분야 연구개발 장려금;
- 2021년 5월 사용 가능성을 시험 및 확인하기 위해 국가 디지털 화폐(디지털 달러 프로젝트) 도입에 대한 다섯 개의 파일럿 프로젝트 출시.

유럽 연합은 DLT의 개발과 적절한 생태계 조성을 위한 규제 환경을 형성하고 있다:

- EU 블록체인 감독위원회의 출범;
- EU 블록체인 파트너십 구축(유럽 블록체인 파트너십 선언);
- 유럽 위원회 및 유럽 블록체인 파트너십(EBP)의 이니셔티브인 유럽 블록체인 서비스 인프라(EBSI)의 구축. EBSI의 서비스 인프라는 상호 연결 노드의 P2P 네트워크에서 실행된다. 29개 국가가 포함된 EBP의 각 회원국(특히 EU, 노르웨이, 리히텐슈타인 등)은 최소 한 개의 노드를 관리한다²²;
- EU 통합 디지털 화폐 프로젝트의 개발(유럽 중앙은행의 이니셔티브);

¹⁷ <https://www.pwc.ch/en/insights/digital/pwc-global-cbdc-index-2021.html>

¹⁸ <https://cbdctracker.org/>

¹⁹ https://www.cbr.ru/StaticHtml/File/112957/Consultation_Paper_201013.pdf

²⁰ <https://www.rbc.ru/crypto/news/5f5c84fe9a794762cd740d4f>

²¹ <https://www.reuters.com/world/china/china-central-bank-vows-crackdown-cryptocurrency-trading-2021-09-24/>

- 규제 샌드박스의 출범;
- DLT 를 하나의 집중 분야로 포함하는 Europe Horizon 연구 혁신 지원 프로그램의 실행.

수백 명의 회원이 있는 국제 금융 블록체인 컨소시엄(R3, Ripple)을 비롯한 글로벌 협회 및 컨소시엄(예: Enterprise Ethereum Alliance, Hyperledger)들은 DLT 발전을 위해 노력하고 있다. 또한 하이퍼레저(Hyperledger)의 260 명 이상의 회원들 중 20 명이 학계 파트너라는 점은 주목할 만하다²³.

다른 많은 국가와 마찬가지로 러시아에서도 DLT 개발 및 실행은 금융부문에서 가장 활발하다. 2019 년, 러시아 연방 민법 제 1 부에 디지털 권리의 개념을 도입한 2019 년 3 월 18 일의 연방법 제 34-FZ 호가 채택되었으며, 2020 년에는 2020 년 7 월 31 일자 연방법 제 259-FZ 호, "러시아 연방 디지털 금융 자산, 디지털 화폐 및 특정 입법 개정"이 채택되었다.

공공부문의 이니셔티브들은 블록체인 개발에 두드러진 역할을 하고 있다. 예를 들어, 연방세무국(FTS)은 중소기업에 무이자 대출을 제공하기 위한 블록체인 플랫폼을 출시했는데, 이미 4,200 개 이상의 기관이 접속하였다²⁴. 비즈니스를 지원하기 위한 새로운 국가 프로그램, 은행 고객을 위한 종이 없는 서비스 뿐만 아니라 고객 파일 생성 및 위험 프로파일링 등을 위한 블록체인 플랫폼은 앞으로도 더욱 개발될 것이다²⁵. Bank DOM.RF 는 로스리에스터(Rosreestr)와 협업하여 러시아에서는 처음으로 기존 주택담보대출에 대한 문서 어음(종이)이 아닌 전자식 주택담보 어음을 발행하였다(이전에는 이러한 솔루션이 새로운 주택담보대출에만 사용되었음). 또한 CEC 의 요청으로 웨이브 엔터프라이즈(Waves Enterprise) 솔루션을 기반으로 한 탈중앙식 블록체인 투표 서비스가 구현되고 있다.^{26,27}

분산원장 기술의 첨단 기술 분야 개발은 국영기업 로스텍과 러시아 연방 정부 간의 협력의향서 실행의 일환으로 진행 되고 있다. DLT 는 러시아의 디지털 경제 국가 프로그램의 디지털 기술 연방 프로젝트 내 지원 분야 중 하나이다. 또한 2019 년 이노폴리스 대학교는 분산원장 시스템 분야에서 선도 연구 센터 지위를 획득하였고 완전히 검증된 블록체인 플랫폼의 개발을 위한 장려금을 지원받았다.²⁸ 분산원장 기술 개발에 참여하는 협회들도 있다. 예를 들어 상트페테르부르크 대학교의 분산원장 기술 센터에는 12 개의 과학 및 교육 단체와 20 개의 산업 파트너가 참여하고 있다²⁹. 31 개의 단체와 21 개의 파트너가 포함된 핀테크 협회³⁰ 는 블록체인 기술 개발에 종사하고 있다.

러시아 분산원장 기술의 첨단기술 방향 개발을 위한 주요 과제는 다음과 같다:

- DLT 으로 구동되는 서비스 및 개발된 애플리케이션에 대한 높은 수준의 상호운용성 보장;
- 오픈소스 모델을 기반으로 설계된 기술을 포함하여 국내 분산원장 기술 스택의 개발 및 수출 잠재성 증진;
- DLT 기반 시스템과 다른 디지털 기술(사물 인터넷, 빅데이터, 산업용 사물 인터넷, 무선 통신 기술 등)간의 복합 상호연계 체계 구축;
- 중소기업 뿐만 아니라 개인을 위한 DLT 기반 시스템의 호스팅에 필요한 국가 인프라를 생성 및 구축하여 공공-민간 파트너십을 포함, 공개적으로 액세스할 수 있는 비즈니스 네트워크를 통해 개발자들에게 애플리케이션을 만들 수 있는 도구를 제공;
- 규제 장벽을 제거하고 러시아 국가경제에서 DLT 의 높은 실행률을 보장;

²² <https://www.hyperledger.org/members>

²³ <https://digital.ac.gov.ru/news/4722/>

²⁴ <https://www.rbc.ru/economics/04/03/2021/603f8ec99a7947c24dfd973a>

²⁵ <https://domrfbank.ru/press/private-clients/bank-dom-rf-polnostyu-pereydet-na-elektronnye-zakladnye-do-kontsa-goda/>

²⁶ https://www.cnews.ru/news/top/2021-02-04_rossijskie_vybory_na_blokcheyne

²⁷ <https://innopolis.university/center-blockchain>

²⁸ <https://dlc.spbu.ru/ru/consortium>

²⁹ <https://fintechru.org/about/>

발전 전망

경제 및 사회 부문에서 분산원장 기술의 확산은 지속가능한 개발의 중요한 전제 조건이 되고 있다. 거래의 보안 및 투명성은 신뢰의 환경을 제공하며, 이는 디지털 세계에서 획기적인 혁신을 실현하는 데 필수적이다³¹. 블록체인 기술의 범위는 암호화폐 외에도 온라인 결제 및 거래 플랫폼, 보건 시스템, 공급망, 온실가스 회계 및 할당량 거래 시스템 등 지속적으로 확장하고 있다. 사물인터넷 장치 간의 데이터 교환을 위한 블록체인 사용도 더욱 확대될 것으로 예상된다. 오픈소스 DLT 프로젝트의 수도 증가할 것으로 예측된다.³²

세계적으로 DLT 기반 제품의 광범위한 도입 및 실제 사용을 저해했던 많은 기술, 규제 및 시장의 장벽은 이미 극복되고 있다. 분산원장 기술은 시장에 참여하는 입지의 대기업은 물론 스타트업 기업까지 수천개의 기업이 개발하고 또 활용하고 있다.

따라서 오늘날 분산원장 기술의 준비성은 비교적 높은 수준이라고 할 수 있다. 그러므로 현 단계 국가 수준에서 DLT에 대한 지원은 일차적으로 규제 프레임워크의 추가적인 적용에 대해 이루어져야 하며, 그 필요성을 고려하여 한편으로는 이 기술의 사회경제적 영향이 높을 것으로 예상되는 다양한 부문에서 DLT 배포를 촉진하고, 다른 한편으로는 DLT가 민감한 정보(개인 정보, 금융 자산 데이터, 거래 등)에 적용되는 점을 감안하여 동 기술을 활용하는 사용자의 위험성을 최소화해야 한다.

모든 분산원장 기술군에 따른 솔루션은 러시아에서 개발 및 사용되고 있다. 이중 상당수는 외국의 개발을 기반으로 하고 있는데, 솔루션의 상당 부분은 외국 오픈소스 플랫폼(Hyperledger 및 Ethereum)에서 생성되고 있다. 이러한 점에서 가장 중요한 방향은 국내 유사품을 만들고 오픈소스 모델을 사용하여 모든 참여자가 산업 솔루션에 대한 사양 및 표준 비즈니스 절차를 정의하는 과정에 참여할 수 있도록 하는 것이다.

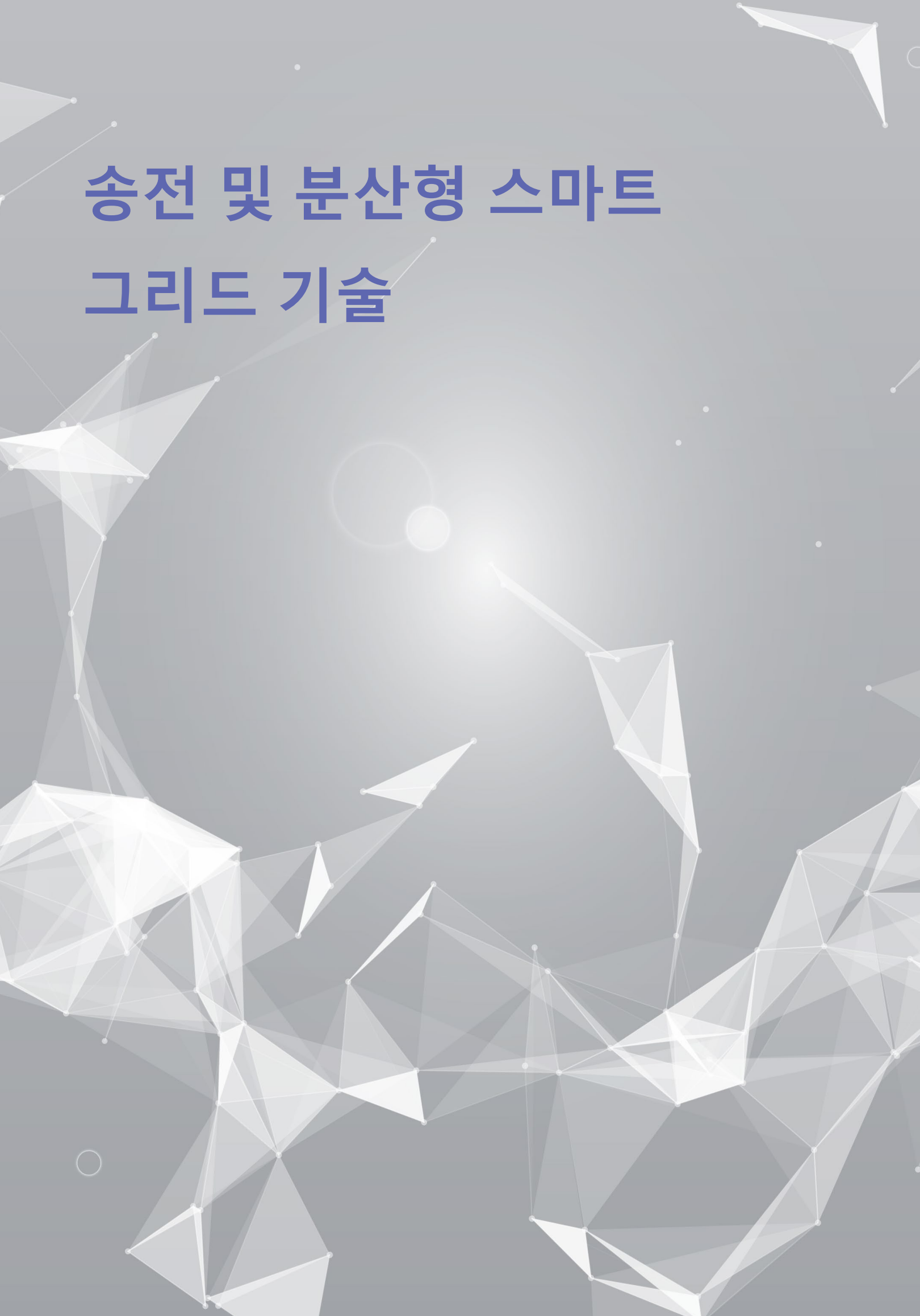
러시아 DLT 인프라 구축에 있어서 유망한 분야 중 하나는 분산원장에 대한 국가 서비스 네트워크를 형성하는 것이다. 선도 국가들은 이미 유사한 네트워크를 구축하고 있다.

공공 부문에서 이러한 기술을 활용한 프로젝트의 실행은 (예시로 공공 서비스 및 국가 지원 제공, 세무 신고, 의료 정보의 저장 등) 러시아에서 DLT의 보다 넓은 확산에 기여할 수 있다. 국가 기관이 참여하는 가운데 오픈소스를 활용하여 공공-민간 파트너십에 입각한 국내 DLT의 생태계를 조성하는 것은 데이터의 전송, 처리 및 보관에 필요한 기본적인 수준의 보안을 제공하고, 동시에 비즈니스에 새로운 서비스 및 제품을 만들 수 있는 기회를 제공할 것이다. 기업들은 신뢰성과 보안성에 안심하고 정부 정보 시스템의 데이터를 활용하여 신뢰할 수 있는 애플리케이션을 개발할 수 있게 될 것이다. 이는 수집된 데이터를 신뢰할 수 있는 보안 DLT 노드에 통합하여 그 불변성을 보장하고 서비스 제공 시 부정 행위의 위험을 줄일 수 있을 것이다. 러시아 DLT 생태계는 상대방과 협업하고, 스마트 계약을 사용하는 등 핵심 비즈니스 활동을 수행할 때 신뢰할 수 있는 수준을 높이며 중개인을 없애고 데이터 안정성을 높임으로써 비용 절감을 보장할 것이다.

³¹ https://unctad.org/system/files/official-document/ecn162021d3_ru.pdf

³² https://www.cnews.ru/articles/2020-04-19_v_rossii_potratyat_36_mlrd_rub_na_razvitiye

송전 및 분산형 스마트 그리드 기술



약어

APCS	자동식 프로세스 제어 시스템
전력선	전력 공급선
SESS	에너지 저장 시스템
GTO	게이트 턴 오프
IEA	국제에너지기구
IGBT 모듈	절연 게이트 양극성 트랜지스터
IRENA	국제재생에너지기구
마이크로그리드	마이크로그리드, 국소 전력 시스템

에너지 전환은 오늘날 전 세계 경제 어젠다의 주요 이슈 중 하나이다. 유럽 연합, 중국, 미국은 탄소 중립 에너지 전환을 선언했으며, 많은 국가들이 에너지 믹스에서 재생 에너지원의 비중을 높이는 계획을 수립한 바 있다. 중장기적으로 전기 수송 수단이 널리 사용될 것으로 전망되며, 이에 필수적인 기반시설이 점진적으로 구축되고 있다. 이러한 요인은 탈중앙식 전력 시스템의 개발을 촉진한다.

이와 같은 상황에서 전력 개발은 전력 공급의 안정성 확보, 요금 절감, 스마트그리드 구축 필요성과 함께 발전-배전-송전-판매-소비로 이어지는 전반적인 공급망의 공정관리 자동화에 대한 증가하는 수요에 의해 결정된다. 오늘날 전력 산업에서 생산자와 소비자의 관계가 기존 방식과 다르게 변화함에 따라, 서로 간의 역할과 이해관계가 대립할 수 있는 가능성 또한 제기되고 있다.

위와 같은 추세는 에너지 기반시설의 유연성, 신뢰성, 효율성을 보장할 수 있는 차세대 첨단 기술 솔루션에 대한 수요를 증가시킨다. 전력 공급 통합 시스템은 많은 경제 부문의 개발과 부문 간 상호 연계적 효과 달성에 추가적인 원동력을 제공한다.

로세티(Rosseti)와 러시아 연방 정부는 송전 기술 및 분산형 스마트 그리드의 첨단 기술 분야 개발에 관한 협약을 체결한 바 있다. 해당 협약에 따라 2024년까지 연구 및 프로젝트 실행, 첨단 제품 및 서비스 개발 및 시범 운영을 위한 협력 시스템 구축 뿐만 아니라 전력 산업에서 국내 장비 및 소프트웨어로 체계적으로 전환하는 데 있어 유리한 환경을 조성하도록 하는 로드맵¹이 수립되었다.

본 장에서는 연구 및 개발 어젠다 개요를 포함해 전 세계 및 러시아의 '송전 및 분산형 스마트 그리드 기술 분야의 개발 결과와 전망을 평가하고, 해당 시장 내 핵심 솔루션을 소개한 후, 첨단 기술 분야 발전을 골자로 한 국가 차원의 주요 지원 방안을 체계화하였다.

¹ 2021년 5월 25일 러시아 연방 부총리 A. V. Novak 이 서명한 «송전 및 분산형 스마트 그리드 기술» 분야 첨단 기술 개발 로드맵. 2020년 6월 3일에 승인된 러시아 정부 행정명령 제 1468-r 호에 따라 러시아 연방 정부와 로세티 간 체결된 협약을 이행하여 송전 기술 및 분산형 스마트 그리드를 개발하기 위한 주요 메커니즘임.

송전 및 분산형 스마트 그리드 기술이란?

송전 및 분산형 스마트 그리드 기술은 전력 저장 시스템, 재생에너지, 분산형 발전, 마이크로그리드, 지능형 제어 및 보안 시스템, 전력 전자 및 전기 공학 뿐만 아니라 신소재(복합 재료) 및 물리 법칙(고온 초전도성)을 송전선 건설에 적용하는 등의 첨단 솔루션을 포괄하는 다소 광범위한 분야이다.

기초 연구 및 응용 개발에 대한 투자액의 증가는 새로운 기술에 대한 국가와 상업적 영역의 관심이 늘어나고 있음을 방증한다(표 1).

표 1. 전 세계 기술군별 연구 개발 투자 현황

기술군	투자 규모
전력 전자 기술	2020년 미화 73억 달러, 국비 미화 20~25억 달러 포함 2021~2027년 연간 성장률 4~5%
전력망 에너지 저장 시스템	2020년 미화 35억 달러 2021년 미화 55억 달러
재생 에너지 및 분산 발전	2020년 미화 68억 달러, 국비 미화 48억 달러 포함 2021~2027년 연간 성장률 7~8%
지능형 제어 및 보안 시스템	2020년 미화 5.51억 달러 2030년까지 미화 28억 달러

출처: 스콜코보 과학기술연구원, NTI 플랫폼, 국제에너지기구²

해당 분야 핵심 영역의 연구 개발 투자는 전세계적으로 2016년 미화 130억 달러에서 2020년 미화 200억 달러 이상으로 증가했다.

이러한 추이는 송전 기술과 분산형 스마트 그리드 부문의 연구 활동 성장을 촉진하고 있다. 이에 따라 2010년부터 2020년까지 과학 출판물의 수는 19,700건에서 58,600건으로 약 세 배 증가한 것으로 나타났다(그림 1). 러시아 간행물의 증가세는 타국을 앞지르고 있다.

러시아 학술 논문의 비중은 두 배 이상 증가했으며 절대적인 숫자는 6 배 이상 늘어났다.

전 세계 특허 출원 수는 지난 10년간 16,700건에서 35,200건으로 두 배 이상 증가했다(그림 2). 최근 몇 년간 환경 어젠다가 강화되면서 전 세계에서 가장 큰 규모의 전기차 시장을 가지고 있는 중국이 특허 출원 수에서 선두를 달리고 있다. 일본과 미국이 상위 3개국에 포함되고 있으나 수치상으로는 큰 차이를 보인다.

² <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>

그림 1. 간행물 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

추가적인 산업 개발은 상당한 투자를 필요로 한다. 2014 년에서 2035 년까지 송배전 산업에 필요한 전 세계 투자 규모는 미화 7 조 달러로 추정된다. 에너지 공급의 효율성 및 신뢰성에 대한 수요가 늘어남에 따라 많은 국가들은 노후 기반시설의 현대화라는 시급한 과제에 직면해 있다. 이는 전자기기 사용 증가와 산업 및 사회적 영역의 디지털 전환의 결과로써, 에너지 소비가 크게 증가할 것이라는 예측(2040 년까지 2014 년 대비 37% 증가)을 배경으로 한다.³

최근 몇 년간 재생 에너지 프로젝트는 규모를 확장하는 단계에 돌입했으며, 해당 영역은 투자 규모 면에서 독보적인 수치를 보이고 있다. 이에 따라 2020 년 전 세계 전력 기반시설 총 투자 금액은 미화 6,790 억 달러로, 재생 에너지 발전시설에 투자된 금액이 이 중 41%(미화 2,810 억 달러)에 달했으며, 이 중 단 16%(미화 1,110 억 달러)만이 기존 방식의 발전에 투입되었다. 이외에도 36.5%(미화 2,480 억 달러)는 전력망 기반시설 개발에 사용되었으며, 1% 미만(미화 40 억 달러)은 전력망 에너지 저장 시스템에 투입된 것으로 집계되었다.⁴

많은 국가에서 재생 에너지의 비중은 이미 절반을 넘어섰다, 여러 정부가 20~30 년 이내로 재생 에너지원으로 완전히 전환한다는 목표를 설정한 바 있다. 재생 에너지 산업의 성장은 우선적으로 전력 전자와 같은 관련 기술적 솔루션의 개발을 촉진할 뿐만 아니라 희토류 금속 및 장비 재활용 기술에 대한 수요를 수반한다.

최근까지 재생 에너지 개발에 대한 주요 인센티브는 국가 보조금이었다. 지난 10 년간 재생 발전 역량에 따라 지급하던 보조금 비용이 현저하게 감소했으며, 현 시점에서 재생 에너지 활용은 주로 민간 투자를 통해 진행되고 있다. 대부분의 선두 국가들은 보조금 프로그램을 점진적으로 축소하고 있는 현황이다. 2014 년부터 재생 에너지원에 대한 연간 투입 역량은 기존 에너지원보다 높았다. 재생 에너지에 대한 투자액은 화석 연료 및 원자력 발전에 대한 투자액 대비 2 배 이상으로 나타났다.

³ <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2014>
⁴ <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

전 세계 많은 지역에서 전기 운송수단에 대한 인지도가 높아지고 있다. 대부분의 선진국들은 내연기관 차량 비중 축소(최대 판매 금지 조치)하는 계획을 수립하고 있으며, 전기차 제품군이 현저하게 늘어날 것으로 예상됨에 따라 충전 인프라와 전력망 현대화에 대해 공공 예산을 투입하는 프로그램이 이미 시행되고 있다. 직접 보조금 및 세금 혜택 등 기업 및 대중이 전기차를 구매하도록 유도하는 조치들이 확대되고 있다. 제조업체들 또한 전기차 라인을 출시하면서 내연기관 차량의 생산을 단계적으로 중단하고 있다. 향후 10 년 간의 예상되는 전기차 점유율의 증가에 따라 네트워크 인프라 도입이 필요한 실정이다.

상기한 다양한 요인들로 인해 전력 산업은 다방면에서 일련의 쉽지 않은 과제를 마주하고 있으며, 이를 위해 첨단 기술 솔루션의 적용이 필수적이다.

기술

오늘날 전력 산업은 다양한 과학 기술 분야의 교차점에 있는 여러 상호적 연결 솔루션의 복합체이다. 현재 디지털 전환 트렌드는 기술과 조직적 차원에서 업계에 특히 큰 영향을 미치고 있다.

이러한 전환의 바탕에는 기술적 프로세스의 실시간 모니터링, 제어 및 보안의 지능화(디지털 변전소), 전력 공급자와 소비자 간의 상호 작용 최적화 등을 기반으로 하는 솔루션이 자리하고 있다. 이를 통해 전력 소비자가 보다 중요한 역할을 수행하고 전력 회사는 맞춤형 솔루션과 종합적인 서비스를 제공(에너지 서비스화, Energy as a Service)하는 새로운 상호 작용 모델을 설계할 수 있다. 이는 우선적으로 전기 에너지 데이터 및 사용량의 추적을 용이하게 한다. 또한 디지털화는 탈중앙식 에너지 시스템, 대규모 친환경 전기 에너지의 전력망 도입, 그리고 산업 간 기술 확장(Vehicle-to-Grid 등)과 같은 기존 흐름을 강화하는 측면이 있다⁵.

송전 및 분산형 스마트 그리드 기술의 첨단 기술 분야에는 수많은 첨단 기술군이 포함된다(그림 3).

주요 기술군은 그 발전 수준과 시장 규모에 따라 상당한 차이를 보인다(그림 4). 가장 발달한 기술군은 지능형 제어 및 보안 시스템 구축 솔루션이다. 이들 기술은 물리적 인프라와 디지털 인프라를 단일화된 시스템에 통합하여 전력 시스템의 운영을 실시간으로 관리하고 최고 부하를 제어하며, 향후 전력 시스템 계획 수립을 위해 데이터를 저장한다. 재생 에너지의 상업화 및 단계적 규모 확장은 대체로 주요 국가들의 대규모 정부 예산 지원을 통해 이루어져 왔고, 이를 통해 기업은 재생 에너지 기술 개발 및 시범 운영 비용을 절감할 수 있었다. 한편, 첨단 장비의 핵심 기술로 꼽히는 전력 전자 분야, 그리고 다양한 유형의 저장 장치를 포함한 에너지 저장 솔루션에 대한 수요가 점점 늘어나고 있다.

송전 및 분산형 스마트 그리드 기술의 첨단 기술 분야를 구성하는 일부 기술군은 관련 출판 및 특허 출원 활동의 역동성에서 확인할 수 있다. (그림 5).

2010년부터 2020년까지 총 과학 간행물 수는 거의 모든 기술군에서 꾸준한 증가를 보였다. 그중에서도 마이크로 에너지 시스템과 전기 저장 기술에 대한 과학 논문의 수가 가장 빠르게 늘어나고 있다.

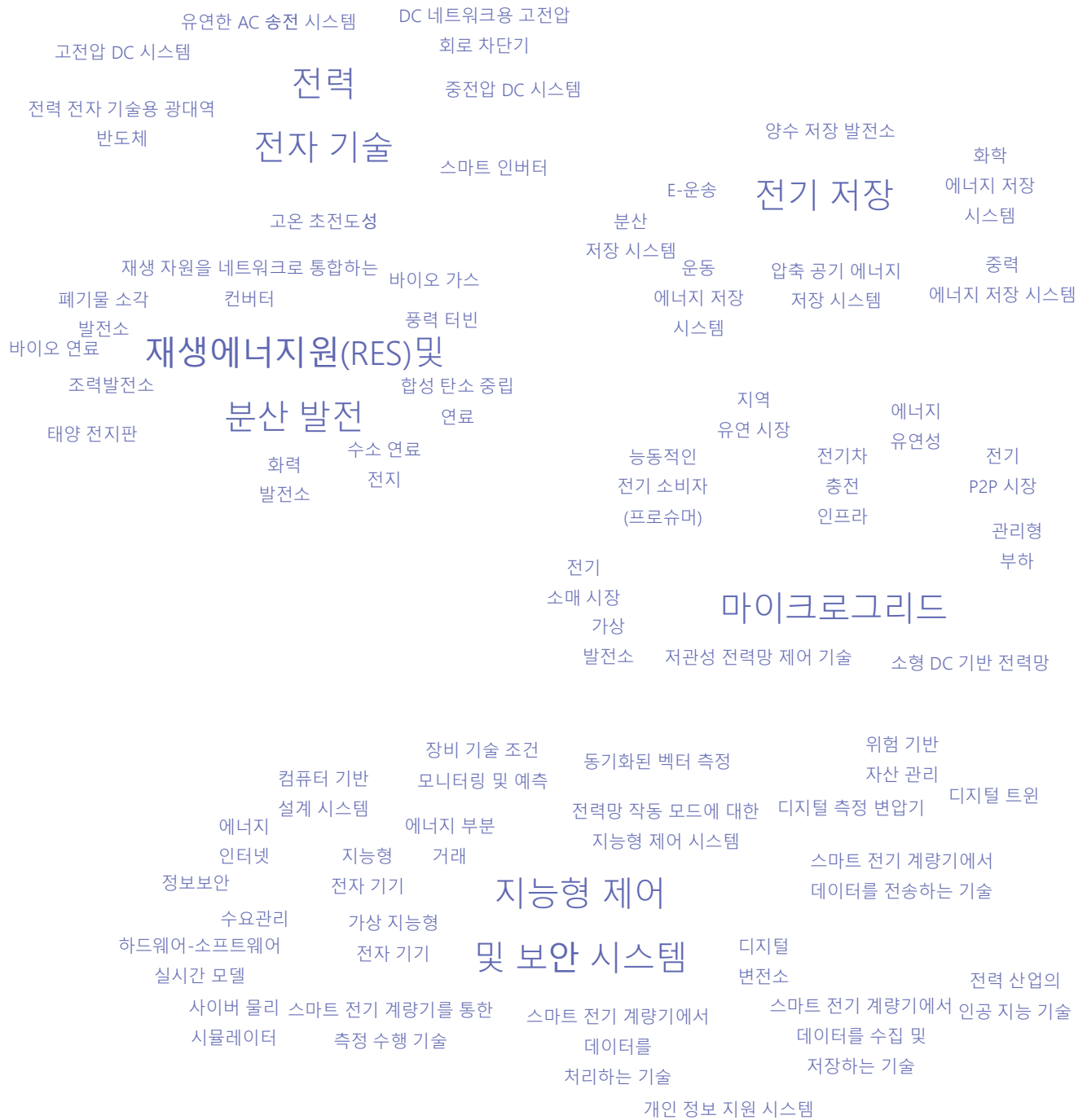
2020년 러시아 저자들의 간행물 중 비중이 가장 큰 분야는 지능형 제어 및 보안 시스템(3.5%)과 전력 전자 기술(2.7%)로 나타났다. 다른 기술군의 경우 해당 지표의 값이 1.8%를 넘지 않고 있다.

2019년 전체 기술에서 러시아 특허 출원 비중은 0.6%~1.1% 범위에 머무르고 있다. 2010년부터 2020년까지 특허 출원이 가장 많이 증가한 분야는 전력 저장 기술이다.

오늘날 송전 기술 및 분산형 스마트 그리드 시장 점유율의 상당부분은 글로벌 리더인 여러 기업이 차지하고 있다(표 2).

⁵ HSE 대학교 (2021) 산업계의 디지털 전환: 시작 환경 및 우선순위. M.: HSE 대학교. 자세한 내용은 하단 링크 참조.
<https://conf.hse.ru/mirror/pubs/share/463148459.pdf>

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조

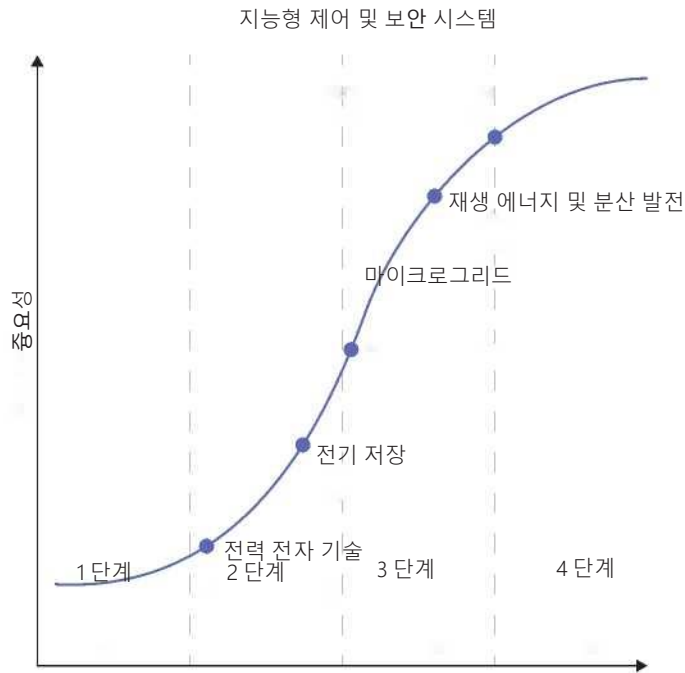


출처: 스킨코보 과학기술연구원, NTI 플랫폼, 모스크바 전력 공학 연구소, HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구

러시아 시장에서는 연구 및 제조 역량을 갖춘 여러 기업들이 첨단 기술 분야 제품 및 구성 요소들을 생산하고 있다. 이러한 기업에는 Avangard OAO, Angstrom AO, Antraks MNPP OOO, Astek OOO, ASU-VEI OOO,

Bresler NPP OOO, Volnovye tekhnologii OOO, Detsima OOO, Kompaniya DEP OOO, Inkatech OOO, NPK Inkoteks OOO, InEnergy OOO, Kirs Kabel OOO, Kurgansky priborostroitelny zavod OOO,

그림 4. 기술 성숙도 곡선



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

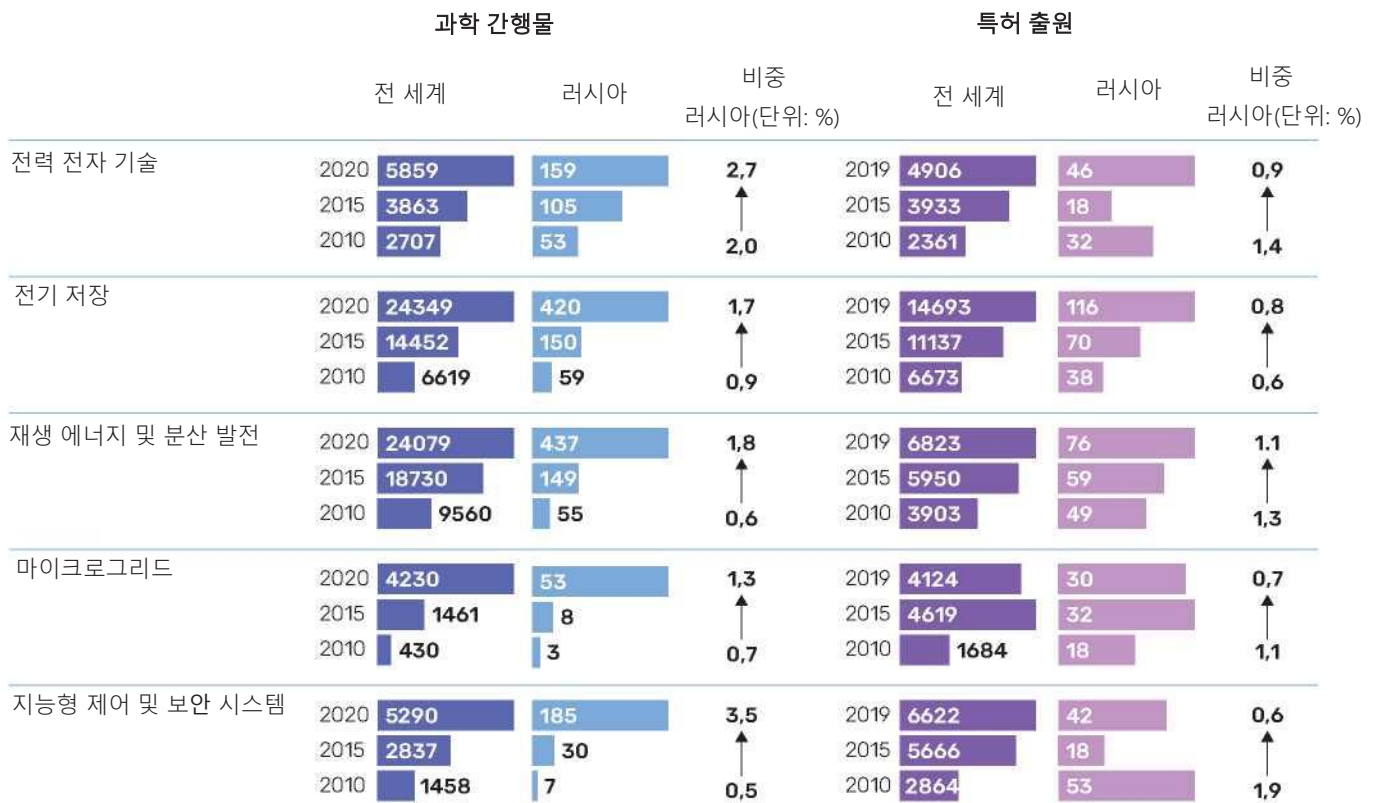
방법론. 중요성은 기술 성숙도 수준을 특징 지으며, 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)에서 지정된 기간 내의 기술에 대한 표준화된 언급을 반영한다. 연구개발의 집중도에 따른 4 단계는 다음과 같다.

- I 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- II 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- III 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- IV 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

Liotech OOO, Ludinovokabel AO, Matritsa OOO, Milur intellektualnye sistemy OOO, NPO MIR OOO, Monitor elektrik AO, NovaWind AO, NIIEFA AO, Operator ASTU AO, Obyedinennaya priborostroitel'naya korporatsiya AO, PLC Technology OOO, Prosoft OOO, Proton-Electroteks AO, Profotek AO, Radius avtomatika AO, Rusatom-avtomatizirovannye sistemy upravleniya AO, Releematika OOO, RiM AO, RTSoft GK,

Renera OOO, SKT-Group OOO, NPO Strimer OOO, Superoks ZAO, Tavrida elektrik GK AO, Teemp proizvodstvo OOO, Khevel GK, NPK Khimpromingining AO (UMATEX), Cheboksarskiy elektroapparatny zavod AO, NPP EKRA OOO, Energetika, mikroelektronika, avtomatika OOO, Elektrotekhnicheskiye zavody Energomera AO 등을 포함하여 다수가 있다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

혁신 개발 프로그램의 일환으로 로세티(Rosseti), 루스하이드로(Rushydro), 로스아톰(Rosatom State Corporation), SO UES JSC 및 기타 정부 투자 기업들이 송전 및 분산형 스마트 그리드 기술과 관련하여 광범위한 연구 개발 프로젝트에 자금을 지원하고 있다.

표 2. 기술군별 전 세계 시장규모 추정치

기술군	시장 규모(단위: 10 억 달러)	주요 기업
전력 전자 기술	19.8 초과	Huawei, Sungrow Power Supply, SMA
전기 저장	8.6	NextEra Energy, Toshiba, Sonnen, Sumitomo Electric Industries
RES(풍력 발전)	70	Orsted, Iberdrola, Vestas Wind Systems, Siemens, Gamesa Renewable Energy
RES(태양열 발전)	7.5	JinkoSolar, Trina Solar, JA Solar, 한화큐셀, Canadian Solar
마이크로그리드	50	ABB, Cisco, General Electric, Siemens, IBM
지능형 제어 및 보안 시스템	15 초과	General Electric, ABB, Siemens, Schneider Electric, Itron, Landis+Gyr, Aclara

출처: 스킵코보 과학기술연구원, NTI 플랫폼.

제품 및 시장

전문가 분석에 따르면, 중기적 관점에서 전력 시스템 자동 제어 및 보안을 위한 지능형 시스템과 분산형 에너지 자원 제어 시스템과 같은 제품이 송전 기술 및 분산형 스마트 그리드 시장에서 가장 높은 수요를 창출할 것으로 예상된다. 해당 솔루션의 전 세계 시장 규모는 2025년까지 최대 미화 500억 달러까지 성장할 것으로 전망된다. 표준형 마이크로그리드 솔루션 시장이 미화 약 400억 달러에 이르는 반면, 하이브리드 에너지 저장 시스템 및 확장 가능 인버터에 대한 시장 전망치는 비교적 낮은 편인 미화 약 200~250억 달러로 예측되고 있다.

러시아의 경우 산업 발전에 대한 전략 문서, 로세티의 발전 계획 및 전력 산업에 대한 국내 제조업체 주요 개발 영역에 따라 다음과 같은 제품 라인이 활발하게 개발되고 있다.

배전망에 연결된 안정적인 발전 및 송전을 위한 에너지 저장 시스템(Energy Storage Systems, 이하 'ESS')은 전력망의 최대 부하를 조절하고 일일 작업 상황을 유지하며, 예비 전력을 제공하고 전력망 부하를 제어하는 데 사용된다. 분산형 발전 시스템에 통합된 경우 ESS를 통해 재생 에너지 기반 전력 발전량을 완만하게 조절함과 동시에 전력 품질과 전기 공급 안정성을 향상시킬 수 있다.

다양한 소비자 유형에 따른 스마트 계량 시스템은 전기 소비 역학 및 구조와 일반적인 전력망 장비의 조건을 수집 및 분석하기 위해 설계되었다. 이러한 시스템을 통해 응급 상황을 사전에 감지하고, 원격으로 부하를 제어하여 전반적인 전력 시스템과 개별 구성 요소의 효율성을 높일 수 있다.

전력 시스템의 자동식 프로세스 제어 시스템(Automated process control system, APCS)은 개별 개체 뿐만 아니라 전반적인 네트워크의 정상 모드 매개변수에 대한 지원을 제공하며, 손실 최소화, 비정상적 작동 모드로의 전환을 방지하기 위한 전력 시스템 안전성 증진, 사고 최소화 및 적시에 장비 수리 기능을 지원한다.

변전소 계전기 보호 장치는 전력 시스템에서 손상된 요소를 자동으로 신속하게 감지하고 분리 조치하여 정상적인 작동을 보장하기 위해 설계된 설비의 복합체이다. 고도의 유연성을 가진 지능형 전자 기기를 기반으로 한 현대의 통합형 모듈식 보호 및 자동 장치를 통해 전력망 복합 장비의 구축, 유지 보수 및 수리 비용을 최적화할 수 있다.

원격 모니터링 및 진단 시스템은 전력선 상태, 기본 및 보조

장비, 시설 및 장비 상태 진단 및 예측에 대한 데이터를 실시간으로 수집한다. 이러한 시스템을 이용해 신뢰할 수 있는 최신 정보를 기반으로 조직 및 엔지니어링 관련 의사 결정을 적시에 내릴 수 있다는 장점이 있다.

전력망 제어 센터의 자동화된 기술 제어 시스템은 네트워크와 변전소 장비의 작동 모드를 최적화하여 전력망의 손실을 줄이고 안정적인 전력 공급을 보장하며 여러 네트워크 작동 모드 지표에서 허용 가능한 수치를 초과하는 것을 방지하고 필요한 전력 품질을 유지하는 역할을 한다.

전력 전자 요소 기반의 네트워크 작동 매개변수 및 전력 품질을 제어하는 차세대 반도체 시스템 (IGBT, GTO)은 반도체 산업의 첨단 개발을 기반으로 하며, 지능형 제어를 통한 전력 네트워크 효율성을 증진하여 정규화된 교란에 대한 저항성을 보장하고 전력선의 송전 역량을 높이며 전력 흐름을 제한한다. 전력 전자 기기를 사용하면 자본 비용을 절감하여 전력 공급의 안정성과 품질을 보장하는 데 도움이 된다.

고온 초전도 기술 기반의 송전 시스템은 전력 송전선의 손실을 줄이고 과도한 전압 변환 없이 발전기에서 고전력을 전송할 수 있다. 또한 고전압 장비 구축 및 케이블, 기초 설비, 부지 확보, 건설 작업에 드는 비용을 절감하고 환경에 대한 전자기 방사선 영향 수준을 감소시킬 수 있다는 장점이 있다.

6~10kV 네트워크의 중전압 직류 시스템은 전력 시스템에 대한 재생 에너지와 충전소 통합 과정을 간소화한다. 이를 통해 송전 손실을 감소시키고, 이에 따라 서비스 비용, 네트워크 구축 및 재구축 비용 뿐만 아니라 사고 피해를 줄일 수 있다. 이러한 시스템을 활용함으로써 변전소의 전압 승압 및 강하와 예비 전력의 필요성이 제거되어 전력 시스템의 관리 효율과 지속가능성을 향상시키는 효과가 있다.

성능이 향상된 차세대 전선을 사용하면 새로운 송전선을 구축하거나 기존 전선의 단면을 늘려 더 높은 전압 등급으로 송전하는 대신, 기존 송전선의 수송능력을 1.5~2배까지 확대할 수 있다. 이외에도 규격과 길이가 늘어남에 따라, 큰 건널목(선박이 운행 가능한 강, 호수, 토목 구조물 및 도로)에서 통과 거리 확보에 드는 자본 비용이 대폭 감소할 수 있다.

이러한 제품과 솔루션은 업계 내 모든 주요 프로세스의 전환의 기반이 되며, 2030년 이후까지 해당 기술 발전의 방향성을 제시한다.

국가 지원

대부분의 국가에서 전기 에너지 개발은 국가 정책의 우선 순위로써, 많은 선두 국가에서 이미 송전 기술 및 분산형 스마트 그리드 개발에 대해 주요 국가 지원 프로그램을 이미 도입했거나 가까운 시일 내 주요 사업 실행을 계획하고 있다. 미국에서는 미화 1조 달러에 달하는 최대 규모의 투자가 계획되어, 에너지 기반시설 현대화 사업(에너지 인프라 프로그램)의 일환으로 향후 8년간 시행될 예정이다. 전기차 충전 인프라 구축에 미화 75억 달러가 할당되었다. 유럽 연합의 전략적 에너지 기술 계획 시행에는 향후 10년간 미화 90억 달러가 필요할 것으로 예상된다. 중국의 경우에는 2020~2025년 5개년 계획의 일환으로 전력망 인프라 개발에 위 금액보다는 다소 적은 투자(미화 40억 달러)가 예정되어 있다. 이러한 계획안들은 2030년까지 해당 국가들의 경제 성장에 강력한 촉진제가 될 것으로 전망된다.

국제에너지기구(IEA)와 국제재생에너지기구(IRENA)는 송전 및 배전 기술 분야에서 국제적 협력 프로젝트를 진행하고 있다. 일례로, IEA는 51개 국가에서 6,000명의 전문가를 한 곳에 모아 IEA 기술 협력 프로그램(TCP)을 추진하고 있다. 해당 프로그램에서는 대규모 전문가 협력망을 바탕으로 새로운 기술의 개발, 시연 및 시범운영 사업이 진행되며 국제 표준화 관련 협력이 이루어진다. IRENA는 과학 및 재생 에너지 기술 분야 분석을 제공하고, 재생 및 대체 에너지 자원의 효과를 평가하고 있다.

세계 선도국들은 재생 에너지, 전기 운송, 지능형 전력망 관리 시스템 개발을 목표로 다수의 기관을 설립, 운영하고 있는 추세이다. 수많은 연구 전략 및 사업이 구축되어 전력 산업의 신기술 연구 개발을 조직 및 지원한다. 그중 일부는 다음과 같다..

- 17개의 국립 연구소가 참여하는 미국 DOE 전력망 현대화 이니셔티브. 가장 권위있는 학술지에서 전력 관련 간행물의 상당 부분을 차지함.
- 기존 전력망에 대한 전력 전자 기술 통합의 효과를

연구하는 유럽 연합 주요 연구 프로젝트(Horizon 2020 Migrate Project). 해당 프로젝트는 ETH Zurich(스위스), 델프트 공과대학교(Delft University of Technology, 네덜란드), 맨체스터 대학교(University of Manchester, 영국) 및 기업들(Schneider Electric, RTE France, Eirgrid Ireland 등)을 포함하여 13개 유럽 국가의 주요 대학들과 협업 중임.

러시아에서는 송전 기술 및 분산형 스마트 그리드 개발이 국가 우선순위 중 하나이며, 이는 2035년까지의 러시아 연방 에너지 전략⁶, 2035년까지의 러시아 연방 에너지 전략 구현 수행 계획⁷, 2030년을 목표로 하는 2018년, 2019년 및 2020~2024년 로세티(Rosseti)의 혁신 개발 사업 등 최신 사업 및 전략 문서에 반영되어 있다.

현재 경쟁력 있는 수출 지향 산업 제품 생산 발전에 초점을 맞춘 첨단 기술 분야 국가 지원 조치는 다음과 같다.

- 첨단 기술 개발 보조금⁸,
- 생산 수단의 시범적 배치 생산 및 판매 보조금⁹,
- 특별 투자 계약에 따라 시행된 프로젝트(SPIC 2.0)의 국가 자산 사용에 대한 세금, 수수료, 관세, 임대료 혜택¹⁰,
- 산업 발전 기금 프로그램에 따른 선별적 대출 우대.

● 2020년, 로세티와 러시아 연방 정부는 러시아 내 송전 및 분산형 스마트 전력 시스템의 첨단 기술 분야 구축에 대한 협정을 체결한 바 있다. 해당 문서에 따르면 제조, 연구 및 교육 기관 뿐만 아니라 로세티와 협력하여 혁신 제품 및 서비스를 개발하는 중소기업의 참여가 예정되며, 이에 따라 계획 이행을 위한 로드맵이 마련되었다.

⁶ 2020년 6월 9일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 1523-r호에서 승인.

⁷ 2019년 12월 12일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 1649호.

⁸ 2017년 5월 25일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 634호.

⁹ 2014년 12월 31일에 제정된 연방법 제 488-FZ호.

발전 전망

향후 몇 년간 전 세계 전력 산업의 모습은 크게 달라질 것으로 전망된다. 낙후된 인프라에 대한 현대화 필요성이 높아지고 다방면에서 에너지 소비량이 큰 폭으로 증가하면서 야기되는 기술 역량 증대와 맞물려 새로운 에너지 시스템 설계의 필요성이 대두되었다. 재생에너지 발전의 확산은 스마트 그리드 관리 및 보안 기술에 대한 수요를 촉진하며, 저장 시스템의 대규모 구현, 탈중앙식 전력망 및 전체적인 필수 솔루션 스택 비용의 점진적 가격 인하로 이어질 것으로 예상된다. 또한 충전 인프라 및 전력망 현대화 사업은 전기차 제품군의 폭발적인 성장을 견인할 것으로 기대되고 있다.

러시아에서는 첨단 기술 분야를 발전시키고 이를 위한 로드맵을 발표한 로세티와 러시아 연방 정부 간의 협정 이행의 일환으로 2030년까지 송전 기술 및 분산형 스마트 그리드 개발이 추진될 예정이다. 첫 번째 단계(2021~2024년)에서는 과학 및 기술적 토대를 마련하고, 재정 및 경제 모델을 정교화하며, 새로운 솔루션을 사용하기 위한 법적 기반을 마련하는 데 집중하고 있다. 이외에도 우선순위 제품 및 구성 요소 생산을 지역화하는 전략이 설정될 것으로 예상된다. 2023년부터 2026년에는 특별히 형성된 파트너십 네트워크를 기반으로 발전 계획 실행을 위한 잠재적인 지역 및 장비 공급업체가 선정된다. 이에 따른 진행 결과에 따라 러시아 내 장비 현지화를 위한 생산 시설이 배치될 예정이다. 2025년부터 2027년까지는 타깃 시장 부문에 대한 응용 솔루션 및 서비스가 구축되어 시범 사업이 진행된다. 마지막 단계인 2026년부터 2030년에는 러시아 및 해외 시장의 수요를 창출하는데 역량을 집중할 계획이다.

종합하면, 전력 분야의 로드맵과 기타 전략 및 프로그램 문서에 따라 수립된 조치는 첨단 기술 분야에 대한 다음과 같은 목표를 설정하고 있다.

- 2035년까지 재생 자원 기반 12GW 발전 역량 구축.
- 다양한 유형의 전기차 생산량 증대(2024년까지 27,000대, 2030년까지 누계 730,000대)
- 저속 충전소(2024년까지 6,500대, 2030년까지 최소 44,000대) 및 고속 충전소(2024년까지 2,900대, 2030년까지 누적 28,300대 이상)를 포함한 충전 인프라 설치.

송전 기술 및 분산형 스마트 그리드 개발은 급변하는 전 세계 에너지 시장 상황과 환경 문제 심화라는 조건에서 러시아의 국가 영향력을 유지하는 선결 요건으로 꼽힌다. 로드맵에 기초한 프로젝트와 기타 개별 조치 뿐만 아니라 해당 영역의 주요 계획을 통해 과학 기술의 기초 역량을 강화시키고, 이를 통해 국내 개발 솔루션으로 전환하는 기반을 제공할 수 있을 것으로 전망된다. 결과적으로 전력망 복합체의 전환은 러시아 경제에서 대다수 부문의 효율, 특히 산업 분야의 효율을 증진하는 데 상당한 기여를 할 것이다.

휴대용을 포함한 전기 저장 시스템 개발 기술

약어

RB	충전식 배터리
CSTP	과학 및 기술 종합 프로그램
EF	효율 계수
Li-ion	리튬 이온 배터리
IEA	국제에너지기구
SESS	정적 에너지 저장 시스템
LCO	리튬 이온 배터리를 위한 LiCoO ₂ 양극재
LFP	리튬 이온 배터리를 위한 LiFePO ₄ 양극재
LMO	리튬 이온 배터리를 위한 양극재 $x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot y\text{U}_1 + a\text{Mn}_{2-3}\text{O}_4 \cdot z\text{LiMnO}_2$ ($x + y + z = 1$)
LTO	리튬 이온 배터리를 위한 U ₄ Ti ₅ O ₁₂ 음극재
NCA	LiNi _x Co _y Al _z O ₂ ($x + y + z = 1$)의 리튬 이온 배터리를 위한 양극재
NMC	리튬 이온 배터리를 위한 양극재 LiNi _x Co _y Mn _z O ₂ ($x + y + z = 1$)
NVP	소듐 이온 배터리를 위한 Na ₃ V ₂ (PO ₄) ₃ 양극재
NVPF	소듐 이온 배터리를 위한 Na ₃ V ₂ (PO ₄) ₂ O ₂ F 양극재

파리 협정에서 설정한 전 세계 목표는 2050년까지 탄소 중립을 달성하는 것으로, 이는 탄소 순배출량을 0(넷제로)으로 만드는 것을 말한다. 에너지 부문에서 국제에너지기구(IEA)의 로드맵은 이러한 목표를 달성하기 위한 핵심 동력 중 하나로 전기 운송 분야의 발전을 꼽고 있다. 예측에 따르면 2030년까지 전 세계에서 3천만 대의 전기차가 생산될 것으로 보이며, 이는 연간 총 1.80GWh 용량의 새로운 트랙션배터리 수요를 충족할 수 있는 수치이다.

환경 어젠다가 대세로 자리잡으면서 재생 에너지 자원(RES) 분야 또한 추진력을 얻고 있다. 재생 에너지 자원을 기반으로 소비자에게 에너지를 안정적으로 공급하기 위해서는 기상 상황 및 태양 활동에 의존하지 않는 예비 전력원 및 에너지 저장 시스템을 필요로 한다. 2030년 말 기준 풍력 발전의 총 수용력은 약 500GW, 태양 전지판은 450GW에 도달할 것으로 전망된다. 탄화수소 연료 없이도 고정식 배터리 충전소, 녹색 수소 전력원, 그리고 수력 저장 장치가 RES를 보조할 수 있다.

배터리 충전소는 재생 에너지 자원 인근의 어느 지역이나 설치될 수 있다. 이들 충전소는 효율이 높고 전력망에 쉽게 통합되어, 전력 수요가 낮을 때 잉여 전력을 저장한다. 저장된 전력은 최고 부하 기간과 같이 전력 수요가 높아지는 시점에 전력망에 빠른 속도로 방출된다. 추정치에 따르면 2030년에는 배터리가 전체 재생 에너지 자원의 10%를 보조할 경우 연간 최소 200~400GWh의 배터리 수용력이 필요하며, 이에 따라 전기차와 재생 에너지 보조라는 두 영역에서만 배터리 시장이 향후 10년간 연간 2,000~2,200GWh 규모로 7배 이상 성장해야 할 것으로 예상된다.

더불어 에너지 및 운송을 위한 수소 기술 비용도 줄어들 것으로 전망된다. 축전지와 수소 연료 전지 기반의 장치는 기술적으로 서로를 보완하는 역할을 한다. 축전지는 대중교통 차량 용도에 적합하며, 축전지와 수소 연료 전지 기반의 하이브리드 장치는 장거리 트럭 및 주문 제작 차량에 사용될 것으로 예측할 수 있다. IEA의 전망에 따르면, 2030년까지 주요 국가들(미국, 중국, 일본, 한국)의 수소 연료 전지 차량의 수는 약 100만 대, 전 세계적으로는 그 수가 460만 대에 달할 것으로 예상된다.

에너지 저장 시스템의 경제적 파급효과를 고려하여, 러시아 연방정부와 로스아톰(Rosatom State Corporation)은 해당 첨단 기술 분야 관련 협약을 체결할 예정에 있다. 기존의 계획을 추진하고 새로운 기반을 다지는 일련의 정책은 에너지 분야 전략의 일부분으로서, 국제 에너지 시장에서 러시아의 입지를 강화하는 데 그 목적이 있다.

본 섹션에서는 전 세계 및 러시아에서 휴대용을 포함한 전기 저장 시스템 관련 첨단 기술 분야 개발의 현황과 전망을 분석한다. 특히 연구 개발 어젠다에 대한 개요 및 시장에 존재하는 핵심 솔루션을 제시하며, 주요 국가 지원 조치를 체계적으로 설명하였다.

에너지 저장 기술이란?

전기 저장 시스템은 에너지를 충전을 통해 여러 번 반복 사용이 가능한 첨단 전력 장치이다. 주로 리튬 이온 배터리를 기반으로 하는 축전지는 전력 공학, 전기 공학, 전기 추진 분야에서 널리 사용되며, 다양한 유형의 기계 제품의 중요한 구성 요소이기도 하다.

오늘날 가장 흔하게 사용되는 저장 시스템으로는 리튬 이온 배터리가 있다. 가장 일반적인 납축전지와 비교했을 때, 리튬 이온 배터리는 훨씬 더 빠른 속도로 에너지 저장과 방출이 가능하며, 사용 기간(충전과 방전 주기 기준)이 훨씬 길고, 유지 보수가 거의 필요하지 않으며, 소형화가 가능하기 때문이다. 저렴한 가격과 여러 기술적 이점으로 인해 리튬 이온 배터리는 환경 친화적 여객 수송 수단(전기차 및 전기 버스)의 주요 부품으로 자리잡았다.

에너지 저장 시스템에 대한 수요는 전력 산업에서도 증가하는 추세이다. 리튬 이온 배터리 저장 시스템은 잉여 전력을 저장하고 공급이 필요할 때 이를 방출하는 방식으로, 보다 안정적이면서 경제적인 전기 소비를 가능케 한다. 저장 시스템은 재생 에너지 부문에서 발생하는 전력 시스템 안전성 문제를 해결하고 전력 변동을 통제하는 데 도움을 준다.

해당 분야에 대한 관심은 전세계적으로 꾸준히 늘어나고 있으며, 이와 같은 추세는 출판 및 특허 출원 지표에서 확인할 수 있다(그림 1).

2010년부터 2020년까지, 전 세계 과학 간행물 총 수는 세 배 가량 증가하여 2020년에는 18,900 건이 출판되었다. 러시아에서의 증가세는 더욱 높은 것으로 나타나 2010년에 비해 2020년까지 과학 논문의 수는 약 7 배가 증가했으며, 전 세계 간행물 수 대비 러시아 간행물의 비중은 두 배 이상 증가를 보였다(2.2%)

그림 1. 간행물 활동 주요 지표

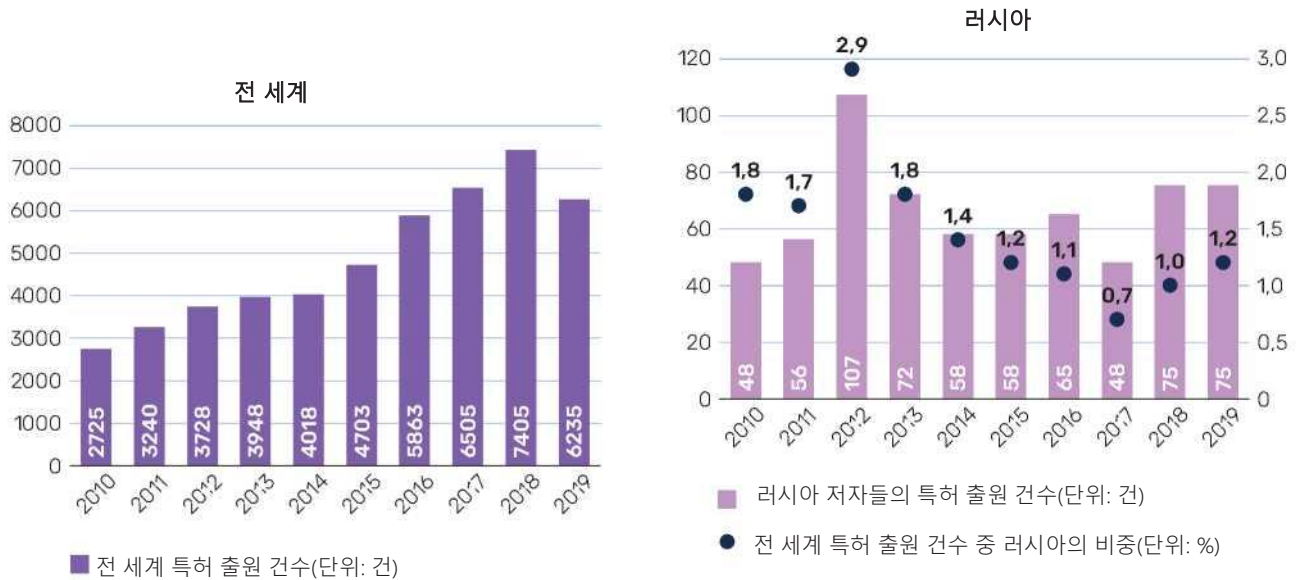


출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

특허 활동 규모의 증가세는 크게 두드러지지 않았다(그림 2). 2010년부터 2019년까지 전 세계 특허 출원 수는 2 배 이상 증가했다. 한편, 이 기간 동안 전 세계 특허 출원 건 수에서 러시아가 차지하는 비중은 지속적으로 변화하는 양상을 보였다. 해당 지표는

2012년 최정점에 도달한 후 일부 감소하였으나, 최근 몇 년간은 그 수가 증가했다. 2019년에는 러시아에서 75건의 특허 출원이 접수되었다.

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

최근 몇 년간 전기 에너지 저장 시스템 개발은 대체로 환경친화적 전기 구동 차량 보급 활성화를 위한 국가 주도 계획의 일환으로 추진되었다. 노르웨이(2025년부터), 독일(2030년부터), 프랑스(2040년부터), 영국(2050년부터), 슬로베니아, 벨기에, 인도, 싱가포르 등 20 개 이상의 국가에서 이미 내연기관 차량 금지 정책을 발표한 바 있다.

유럽 연합(EU)에서는 2025년까지 유럽 전기 자동차 산업의 배터리 수요를 충족하기 위한 목표를 설정하였다¹. 유럽연합 집행위원회(EC) 및 EU 회원국들은 배터리 생산시스템 구축을 촉진하기 위해 상당한 규모의 재원을 할당하고 있다. 해외 공급업체에 대한 의존도를 줄여 EU를 전 세계 시장에서 중국, 한국, 일본과 동등한 수준으로 끌어올리기 위한 대규모 국가 지원이 계획되었다.

에너지 저장에 대한 주요국 정부의 관심이 높아지는 추세에도 많은 기술이 여전히 실험 및 승인 단계에 머무르고 있다. 개발 단계에서는 저장 장치의 용량을 늘리고 생산 비용을 절감하는 데 초점을 두고 있다. 연구 개발에 대한 지원 이외에도 자체 생산 사이클 구축, 인프라 및 관련 산업(소재 생산 등)을 개발하는 데 활발한 투자가 이루어지는 추세이다. 동시에 정부 차원에서는 새로운 솔루션에 대한 수요를 촉진하고 이를 위한 기술적, 법적 환경을 조성하기 위해 적극적으로 지원하고 있다.

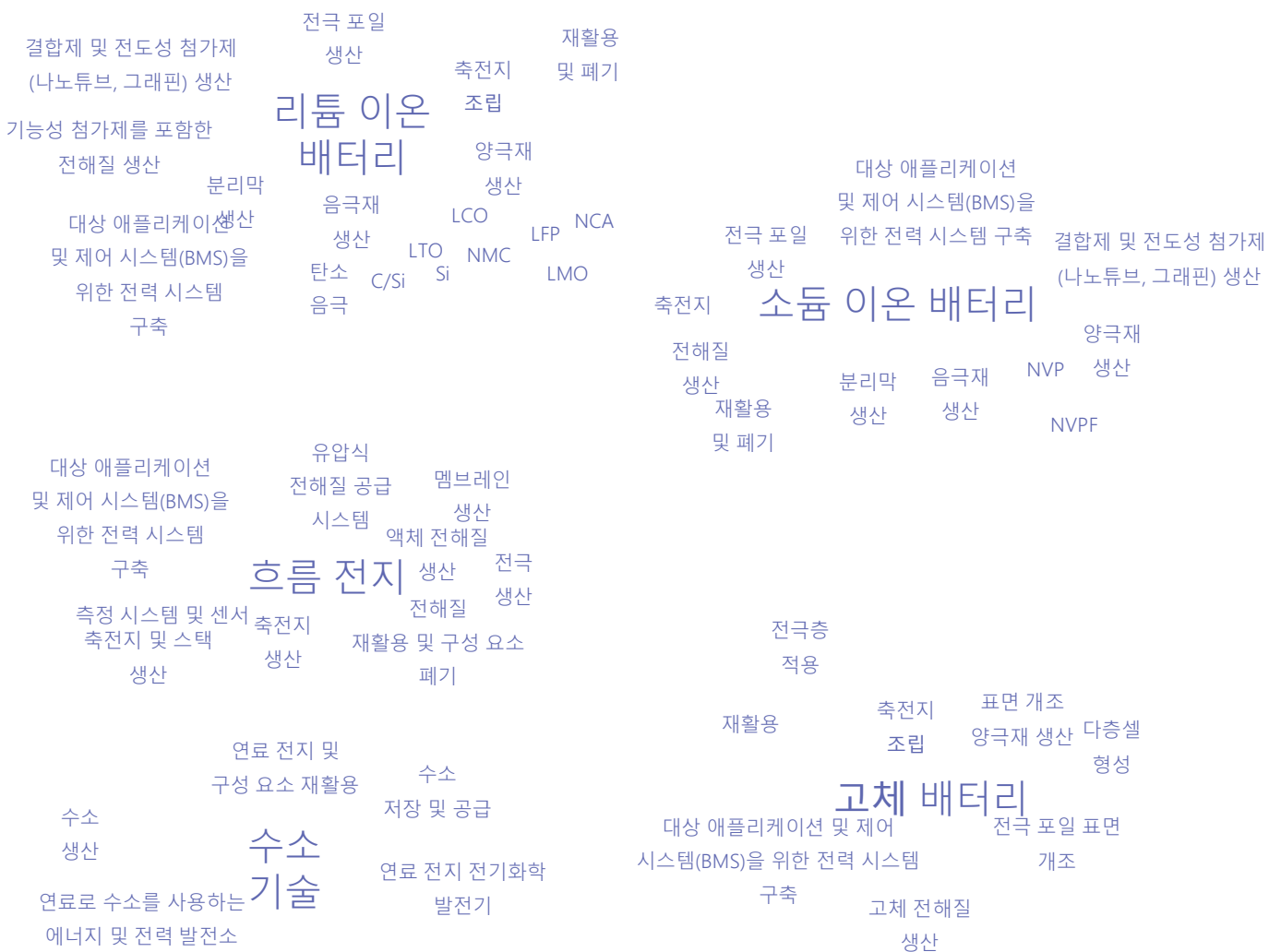
¹ https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances/european-battery-alliance_en

기술

2024년부터 2026년까지 기간동안 전 세계에서 휴대용을 포함한 전기 저장 시스템 분야에서 가장 유망한 기술군으로는 리튬 이온 배터리 관련 기술이 꼽힌다. 리튬 이온 배터리 기술은 전기 운송 분야 개발에 핵심적인 분야로서 전기

화학 분야 개발을 견인하고 있으며, 여기에 수반되는 충전소와 같은 인프라 개발에도 중요한 역할을 한다. 이외에도 장기적으로 대량 생산 가능성이 높은 기술군으로는 소듐 이온 배터리, 흐름 전지, 수소 기술(그림 3)이 있다.

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조



출처: 스킵코보 과학기술연구원

주목받는 기술군 대부분은 아직 투자 회수 및 대량 생산 단계에 도달하지 못했으며, 기술의 등장 단계에 있다 (그림 4. 기술 성숙도 곡선의 하단 참고).

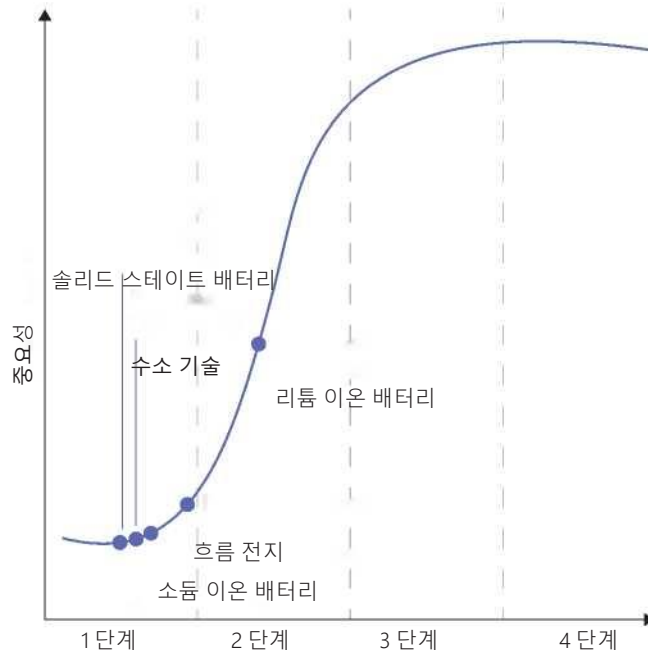
이에 따라 연구 개발 분야는 여러 산업 분야(에너지, 운송 등)에서 상용화 할 수 있는 적절한 솔루션을 탐색하는 단계에 머무르고 있는 실정이다.

선두 국가들은 향후 상업화에 적합한 솔루션을 찾기위해 광범위한 기술 개발에 집중하고 있다.

각 기술군은 개별 특성과 발전 궤적으로 분류할수 있다.

리튬 이온 배터리 관련 기술의 개발은 거의 완성 단계에 있다. 현재 음극 및 양극의 활성 물질 개선, 생산 비용 절감 및 재활용 기술이라는 과제가 남아있다.

그림 4. 기술 성숙도 곡선



출처: 스킵코보 과학기술연구원

방법론. 중요성은 기술 성숙도 수준을 특징 지으며, 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)에서 지정된 기간 내의 기술에 대한 표준화된 언급을 반영한다. 연구개발의 집중도에 따른 4 단계는 다음과 같다.

- I 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- II 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- III 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- IV 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

2024년까지 니켈과 망간 함량을 높인 NMC와 망간 함량을 높인 LFP를 기반으로 하는 고용량 양극재와, 고용량 음극재(Si/C), 그리고 안전성을 확보한 고전압 전해질이 개발 예정에 있다.

이외에도 2030년까지 대체 고용량 양극재(Li 강화 NMC 및 Ni 강화 NCA) 및 음극재가 개발되고, 셀 및 배터리 모듈 조립 기술이 향상되며, 재활용 및 폐기 기술이 개발될 것으로 전망된다.

소듐 이온 배터리 기술은 개발 초기 단계에 있다. 소듐 이온 배터리는 저렴한 비용으로 신속하게 충전할 수 있으며 넓은 온도 범위에서 작동하는 충전지(rechargeable battery, 'RB')로서, 생산에 많은 원재료가 필요하지 않다는 장점이 있다. 단기적(2024년까지)으로는 전해질 소재 개발 및 성능 향상과 전해질 혼합 요소수 대량 생산 설비 조성에 역량이 집중될 것으로 보인다. 2030년 말까지는 셀 조립 기술이 최적화될 것으로 전망된다.

흐름 전지 분야에서는 바나듐 배터리 생산의 주요 단계가 마무리되었다. 현재 목표는 솔루션의 제조 및 실험에 표준화된 기준을 구축하여 전해질과 분리막 생산 비용을 낮추는데 있다. 2024년까지 개발 방향은 셀 및 스택, 내부 구성 요소(분리막 및 전극) 조립 최적화, 안정적인 전해질 균형 조절 공정 및 산업 규모의 셀 및 스택 생산 표준 구축에 집중될 것이다. 2030년까지는 흐름 전지 제어 시스템의 안정성을 보장하기 위해 더 높은 비용량을 가진 새로운 전해질의 개발, 배터리 모듈 조립 최적화 및 전기 네트워크로의 통합에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

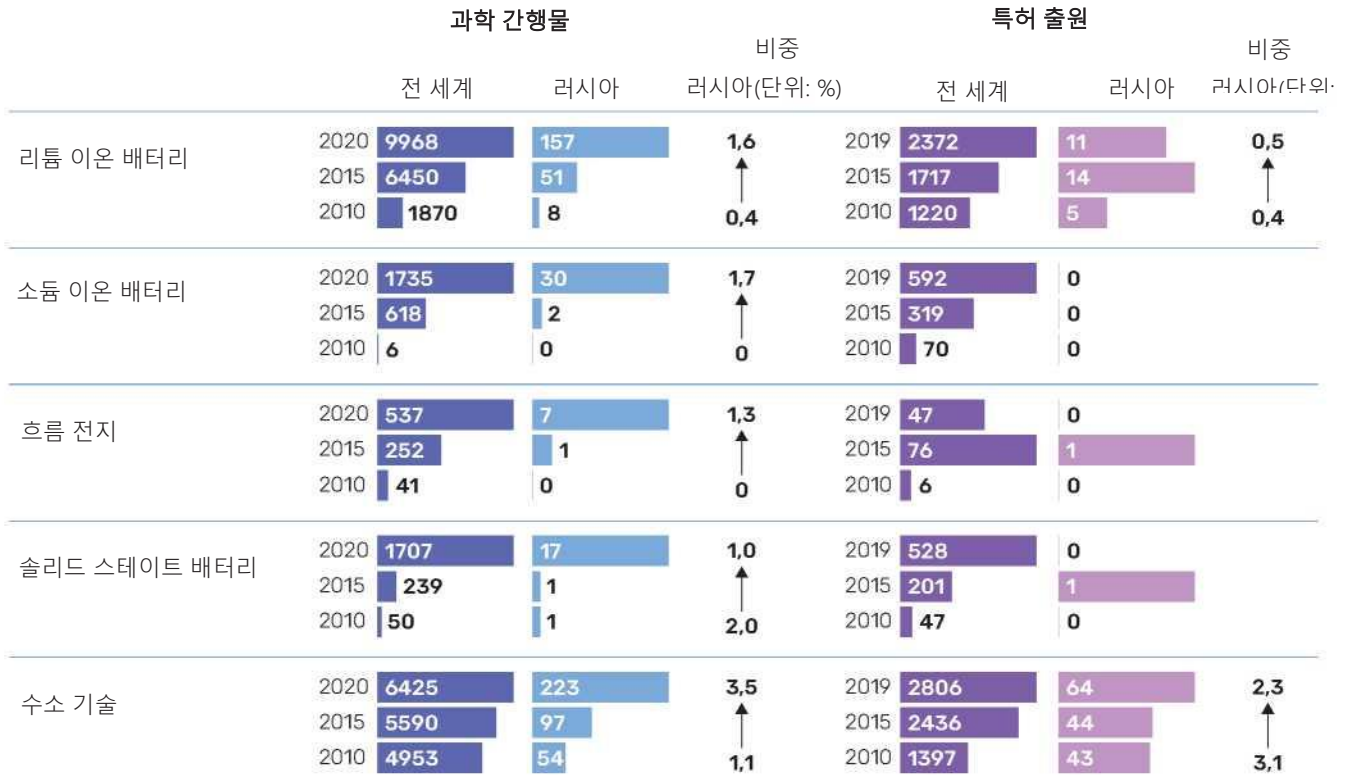
고체 전해질 배터리 개발 또한 초기 단계에 있다. 해당 기술의 개선을 통해 더욱 안정적이고 안전한 고용량의 솔루션이 시장에 출시될 수 있지만, 이를 위해서는 기존 생산 인프라에 대대적인 정비가 필요하다. 2024년까지 해당 기술군 개발에 있어 고체 전해질 및 전극 소재의 개발 및 최적화, 셀 조립 기술 최적화, 그리고 시범 생산 구축이라는 과제가 남아 있다. 기술적 비용이 낮아진다면 2030년까지 고체 전해질 배터리 유형의 대량 생산이 가능하다.

긴 개발 기간에도 불구하고 수소 기술은 투자 회수 단계에 도달하지 못했다. 2030년까지 주요 역량은 공정 정교화와 단계적 생산 인프라 관련 솔루션에 집중될 것으로 예상된다. 수소 생산에는 재생 자원의 잉여 에너지를 수소로 전환하는 P2G(Power-To-Gas) 유형 발전 설비 설치와 전기 분해 공정 최적화가 필요하다. 수소를 사용한 에너지 발전의 측면에서 단일 연료 셀 모듈의 용량 확장은 필수적이다. 수소 저장 및 운송 기술의 등장으로 소비자의 솔루션 활용성이 향상되고, 대용량 및 역내 물류 비용이 감소할 것으로 기대된다.

주요 기술군 개발 수준의 차이는 출판 및 특허 출원 지표로 확인할 수 있다(그림 5). 총 논문 수에 비해 러시아가 가장 많은 기여를 한 분야는 수소기술(2020년 3.5%)이며, 다른 기술군의 경우 해당 지표의 수치가 1.7%를 넘지 않는다. 러시아에는 리튬 이온 배터리 분야의 출판 활동이 가파르게 증가하고 있다(2010년부터 2020년 사이 19배 이상 증가). 이외에도 소듐 이온 배터리 분야 전 세계적으로 간행물 증가세가 두드러졌으며, 고체 전해질 배터리에 대한 논문 또한 크게 증가했다.

러시아는 수소기술 분야에서 논문 출판 뿐만 아니라 특허 출원 건 수에서도 가장 활발한 활동 지표를 보였다(2019년 2.3%). 보다 기술 성숙도 수준이 높은 리튬 이온 배터리 분야의 경우, 국내 특허 신청 비중은 0.5%에 그쳤다. 고체 배터리와 소듐 이온 배터리 분야에서는 세계적으로 집중적인 특허 출원이 이루어지고 있다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

출판 및 특허 출원 활동의 꾸준한 증가에도 불구하고, 리튬 이온 배터리를 제외한 관련 기술의 높은 개발 비용이 광범위한 상업화에 장애물로 작용하고 있다.

제품 및 시장

보다 효율적이고 경제적인 전력 산업 및 전기차 솔루션에 대한 늘어나는 수요가 에너지 저장 기술 개발의 핵심 동력으로 작용하고 있다. 전력 사업의 핵심 제품에는 리튬 및 소듐 이온 배터리 뿐만 아니라 흐름 전지가 있다(표 1). 전기차 분야에 적용될 수 있는 분야에는 리튬 및 소듐 이온 배터리, 고체 배터리 및 수소 기술이 있다. 리튬 이온 배터리와 고체 배터리는 전기 승용차에 적합하며, 소듐 이온 배터리는 제한된 주행 거리의 대중교통 차량에, 수소 시스템은 대형 전기차량에 적합하다.

전기차의 대중화 및 보급 확대에는 전기차의 자체의 개선 뿐만 아니라 충전소 인프라 조성 및 기존 전력 시스템의 대대적인 재구축을 필요로 한다.

현재 러시아의 리튬 이온 배터리 장치 생산은 주로 외국산 배터리 셀의 조립 수준으로 제한되어 있다. 셀의 자체적 생산은

소규모로 이루어지고 있을 뿐만 아니라, 수입산 전극 소재를 기반으로 하며, 국내 제품은 특수한 응용 분야에 대해 소량으로만 생산되고 있다.

러시아는 운송 및 고정식 저장 장치에 대한 핵심 소재, 셀 및 솔루션을 자체 생산할 수 있는 과학 기술 노하우를 보유하고 있다.

러시아에서는 또한 연료 전지를 통한 전기화학 발전기, 그리고 바나듐 전해질을 통한 흐름 전지 개발이 이루어지고 있으며 전기화학 발전기를 기반으로 하는 고정적인 예비 전력 공급 시스템 구축에 시동을 걸고 있다.

완전 자율형으로 연중 운영되는 재생 에너지 자원 및 수소 기술 기반 국제 북극기지 '스노우플레이크'는 북극 지방에서 수소 기술 사용을 시험할 수 있는 장소가 될 것으로 기대된다.

표 1. 주요 제품 및 응용 분야

주력 제품 / 기술군	휴대용 전자기기	에너지 발전 또는 저장용 고정식 시설	전기 운송
리튬 이온 배터리	✓	✓	✓
소듐 이온 배터리	✗	⌚	⌚
흐름 전지	✗	⌚	✗
고체 배터리	✓	⌚ ⌚	⌚
수소 기술	✗	⌚	⌚



- 이미 적용됨



- 단기간 내 적용 가능



- 적용에 장기간 소요.



- 적용 불가

출처: 스콜코보 과학기술연구원

국가 지원

주요국 정부들은 에너지 저장 시스템 개발 및 구현을 목표로 적극적인 협업을 이어가고 있다. 그 중에서도 사기업을 대상으로 기술적 리스크 및 비용 감소에 가장 포괄적인 지원을 제공하고 있는 곳은 유럽 연합으로, 산업 발전을 위한 핵심 조치에 기초 연구 자금 지원, 생산자 보조금 지원, 유리한 규제 환경 조성 등을 포함시켰다. 2018년부터 2021년까지 총 투자 규모는 약 270억 유로로, 그 중 대출 및 보조금 형태의 국가 지원은 70억 유로 이상으로 집계되었다. 이러한 지원은 주로 연료 전지 전체 생산 공정 개발에 초점을 두고 있으며, 관련 프로그램에 자금을 지원하는 주요 방식에는 다음 두 가지가 있다.

- 1) 유럽 공동이익의 주요 프로젝트(Important Project of Common European Interest, IPCEI)는 EU 회원국들이 기업, 스타트업 및 연구 기관에 보조금을 지원할 수 있도록 하여 초기 비용과 위험도가 높은 새로운 산업 분야에 프로젝트를 시행할 수 있도록 하는 특별 제도이다. 배터리 개발 프로젝트는 그 중 전략적 우선 순위로 설정되어 있다.
- 2) 유럽투자은행은 높은 리스크로 인해 상업 은행에서 대출 지원을 받을 수 없는 프로젝트에 대출 및 기타 금융 지원을 제공한다. 여기에 추가적으로 유럽부흥개발은행의 지원을 받을 수 있다. 예를 들어 지난 3~4년 동안 과학 및 생산망 개발 집중 프로젝트 세 건이 자금 지원을 받은 바 있다.

다른 국가에서도 배터리 전체 생산 공정 개발을 목표로 하는 유사한 조치가 시행되고 있다. 일례로 영국의 정부 지원은 전기차용 배터리 기초 연구, 시제품 제작, 개발 및 대량 생산에 중점을 두고 있다.

러시아에서 에너지 저장 시스템 개발 및 구현에 대한 지원 조치는 산업별 전략 계획 문서에 따라 추진된다. 러시아 연방의 수소 에너지 개발 계획안²은 중기(최대 2024년) 및 장기적(최대 2035년) 관점에서 기술 개발 및 구현을 지원하기 위한 목적, 실행방안, 전략 구상, 주요 활동 뿐만 아니라 2050년까지 주요 목표를 정의하고 있다. 해당 문서는 2035년까지 러시아 연방 에너지 전략 문서를 보완 및 구체화하는 역할을 한다.³ 2024년까지의 수소 에너지 개발 사업 계획 또한 승인되었다.⁴

전기차 배터리 개발을 지원하는 정책안에는 2030년까지 전기 차량의 생산 및 사용 촉진 계획과 2024년까지 이를 구현하기 위한 로드맵이 있으며, 이는 트랙션 배터리 및 연료 전지가 포함된 전기차와 전기 및 수소 충전 인프라를 개발하기 위한 방안을 포함하고 있다. 해당 문서는 산업 개발의 방향성을 설정하는 동시에 트랙션 배터리 및 연료 전지 셀 생산 예측을 제공한다.⁵

에너지 저장 시스템에 대한 수요를 촉진하기 위한 국가 정책의 주요 사항은 2030년까지의 러시아 연방 운송 분야 전략에 상세히 기술되었다(2035년까지의 전망치 포함). 가장 시급한 과제는 규제 장벽 제거, 지자체별 충전 인프라 확보, 국내 전기차 구매 및 리스 보조금 지원을 포함한 국내 전기차 및 부품 수요 촉진, 트랙션 배터리 및 부품 국내 생산, 수소 연료 전지 및 관련 시스템 개발, 수소 연료 전지를 포함한 전기차 및 구성 요소 기반 생산 현지화, 저탄소 배출 차량 설계 인증 및 개선 작업을 위한 시험 시설 조성, 수소 인프라 구축 등이 있다.⁶

또한, 전기 저장 시스템 기술 개발을 목표로 러시아 연방 정부와 로스아톰(Rosatom State Corporation) 간에 휴대용을 포함한 전기 저장 시스템 개발 기술의 첨단 기술 분야를 지원하는 협약이 체결될 예정이다.

² 2021년 8월 5일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 2162-r 호에서 승인.

³ 2020년 6월 9일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 1523-r 호에서 승인.

⁴ 2020년 10월 12일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 2634-r 호에서 승인.

⁵ 2021년 8월 23일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 2290-r 호에서 승인.

⁶ 2021년 11월 27일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 3363-r 호에서 승인.

발전 전망

해외 정책안 및 기타 전략 문서에서 전력 저장 시스템 구축은 국가 및 주요 제조 기업의 우선 순위에서 자리하고 있다. 주요 국가들은 기술적 리스크에도 불구하고, 자국 내수 시장의 규모를 발판으로 삼아 내연기관에서 전기 구동 차량으로 전환하는 데 역량을 집중하고 있다. 선진국들은 초기 단계에서 기술 우위 선점을 위해 일찌감치 생산 시설을 구축한 바 있다.

산업 발전은 생산 개발의 수출 모델에 기반하는 경우가 많다. 기술 개발을 위한 제휴 협력을 통해 효율적인 개발이 이루어진 사례를 전세계적으로 쉽게 찾아볼 수 있다(예: 테슬라-파나소닉). 이러한 컨소시엄에는 연구 센터, 소재 및 배터리 셀 제조업체, 엔지니어링 기업 및 생산 공정을 현대화 중인 사업체가 참여할 수 있다.

러시아에서 에너지 저장 장치 생산은 주로 국내 시장에 집중되어 있으며, 이는 국내 기술 연결망 형성이 초기 단계라는 점을 감안했을 때 충분히 납득할 수 있는 상황이다. 활성 물질부터 최종 제품에 이르는 에너지 저장 장치 생산 산업 발전의 후속 단계는 로스아톰이 관심있는 기업의 참여를 유도해 진행될 예정이다. 특히 국내 수요를 완전히 충족하고 특수 소재 및 구성 요소의 자체 생산 개발이 가능한 수준으로 끌어올리는 것이 에너지 저장 장치 내수 지원 사업의 궁극적 목표이다.

장기적으로는 2030년까지 이미 수요의 65% 이상을 차지하는 전기차가 해당 분야의 주요 동력이 될 것으로 예상된다. 러시아에서는 전기차를 생산하기 위한 생산 시설 조성 계획과 산업용 배터리 부문의 발전을 통해 17.5GWh 규모의 에너지 저장 장치에 대한 국내 수요가 형성되고 있다. 로스아톰은 리튬 이온 배터리 셀 생산 시설인 '기가팩토리' 건설 프로젝트를 진행하고 있다. 첫 번째 생산 라인은 연간 3GWh 규모로 2025년에 문을 열 예정이며, 시장 수요가 증가함에 따라 2030년까지 확장될 계획에 있다.

또 다른 발전 유망 분야는 수소 에너지이다. 수소 에너지는 전력, 운송, 제조 분야의 교차점에 위치해 산업 전반에서 근본적으로 새로운 성장동력을 만들어낼 수 있는 잠재력을 가지고 있을뿐 아니라 탈탄소화와 산업간 균형의 구조적 변화를 가능케한다. 해당 분야의 주력 제품은 저탄소 수소 에너지 수송체로 여기에는 저탄소 수소 및 암모니아, 메탄 및 수소 혼합물, 그리고 앞서 언급한 자원의 생산 및 응용 기술이 포함된다.

전기차 관련 수소 기술과 트랙션 배터리의 시너지는 상기한 제품군을 러시아의 연구 및 생산 역량에 맞추어 개발할 수 있게 한다. 이는 결과적으로 발전하는 전 세계 기술 시장에서 러시아 기관의 잠재성을 실현할 수 있게 할 것으로 기대된다.

신소재 및 물질 기술



약어

CSTP	과학 및 기술 종합 프로그램
MET	광물추출세
PAN 전구체	합성 섬유, 탄소 섬유 생산의 주 원료
폴리아크릴로나이트릴(PAN)	아크릴로나이트릴 중합으로 생산되는 합성 선형 중합체
RAW	방사성 폐기물
REM(희토류 금속)	란타넘족 원소 15 개(주기율표에서 원자번호 57~71: 란타넘, 세륨, 프라세오디뮴, 네오디뮴, 프로메튬, 사마륨, 유로퓸, 가돌리늄, 터븀, 디스프로슘, 홀뮴, 어븀, 툴륨, 이테르븀, 루테튬) 및 스칸듐과 이트륨
RM(희귀 금속)	나이오븀, 탄탈럼, 리튬, 베릴륨, 레늄, 게르마늄, 지르코늄, 텅스텐, 몰리브덴, 1996 년 1 월 16 일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 50-r 호에서 승인된 전략적 광물 주요 유형 목록에 포함됨
SPIC	특별 투자 계약

차세대 소재를 개발하지 않고 러시아의 과학 및 기술 발전에 대한 전략적 과제를 해결하는 것은 불가능하다. 이들은 최신 요건을 충족하거나 능가하는 초소재(초경량, 초경질 등), 형상 기억 소재와 프로그램 가능한 소재로 첨단 생산 기술의 기초가 된다.

국영기업 로스아톰(Rosatom State Corporation)과 러시아 연방 정부는 러시아 내 신소재 및 물질 개발 방향에 대한 협력의향서를 체결하였다. 그 시행의 일환으로 2024 년까지 이러한 분야의 발전을 위한 종합적인 계획을 제공하는 로드맵¹이 승인되었다.

로드맵이 제시하는 조치들의 핵심 과제는 국내 개발을 기반으로 신 소재 및 제품에 대한 러시아 산업의 요구 사항을 충족시켜 해외 유사품을 대체하고, 세계 시장에서의 경쟁력을 제고하여 러시아 제품의 수출 잠재력을 증진하는 것이다.

보고서의 동 섹션은 러시아 및 세계 신소재 및 물질 기술의 첨단 기술 분야 개발 결과와 그 전망에 대한 평가를 제공한다. 이는 동 분야 연구개발 의제에 대한 개요와 시장에 존재하는 핵심 솔루션, 그리고 주요 국가 지원 조치를 체계화한 내용을 포함한다.

신소재 및 물질 기술이란?

신소재 및 물질 기술을 첨단 기술 분야로 구성하는 세 가지 주요 기술군은 다음과 같다: 적층 기술(AT); 고분자 복합 재료(PCM); 리튬 생산 기술을 포함한 희귀금속 및 희토류 금속(RM 및 REM) 등². 한편 디지털 소재 과학인 «서비스형 소재(MaaS)»는 물성의 예측과 신구조물의 개발 및 시험을 위한 일련의 디지털 솔루션 및 모델로서 별도 구분된다. 상기 기술군은 기술적 특성, 성숙도의 수준 및 상업화의 규모 측면에서 서로 차이가 난다.

지난 5년간 신소재 및 물질 기술은 러시아 및 전 세계에서 활발하게 개발되고 있다. 동 분야에 대한 지대한 관심은 각국의 기술적 자주성 확보를 위한 전략적 중요성으로 설명된다. 전문가들의 예측에 따르면 오늘날 PCM 시장은 규모면에서

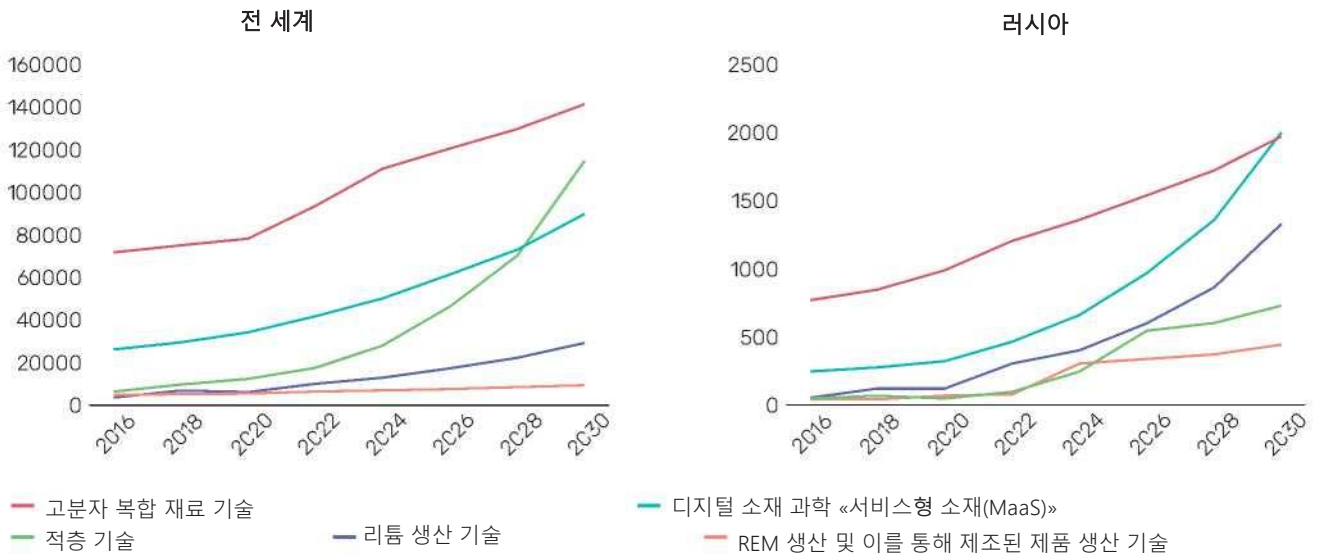
최대치를 보이고 있다(미화 약 800 억 달러). 이는 2030 년까지 주도적인 위치를 차지할 것으로 보이며, 2020 년 지표와 비교해 1.8 배 이상 증가할 것으로 예상된다. 현재 두 번째로 큰 시장은 디지털 소재 시장이다(미화 약 400 억 달러). 예측에 따르면 동 시장은 향후 10 년간 두 배 이상 커질 것으로 전망된다. 적층 소재 시장은 그 중에서도 가장 역동적으로 발전하여 2030 년까지 10 배 정도의 성장이 예상된다.

러시아에서도 유사한 추세를 확인할 수 있다. PCM 시장은 주도적인 위치를 유지할 것이며 2030 년까지 미화 20 억 달러 규모로 두 배 성장할 것이다. 디지털 소재 과학 시장은 세계 대비 높은 성장률 덕분에 이와 비슷한 수치에 도달할 것으로 보인다(그림 1).

¹신소재 및 물질 기술에 대한 기술 로드맵, 2020 년 4 월 20 일 제 UB-P7-4257 호로 러시아 연방 정부 부의장 Yu. I. Borisov 의 결정에 따라 승인됨. 러시아 연방 정부 및 로스아톰 간의 협정의향서 실행을 위한 주요 메커니즘임, 2019 년 7 월 8 일에 제정된 신소재 및 물질 기술 개발을 위한 러시아 정부 행정명령 제 1484-r 호에 따라 체결됨.

² 리튬 기술은 세계 경제에서 차지하는 높은 중요성과 에너지 산업, 전기 운송, 전자기기 산업 및 수많은 기타 영역에서 해당 희귀 금속에 대한 수요 증가에 따라 별도의 범주로 구분되어 있음.

그림 1. 2030년까지 기술군별 시장 규모(단위: 미화 백만 달러)



출처: Bauman MSTU.

2016년부터 2020년까지 전 세계 신소재 및 물질 개발 분야의 연구 개발 비용은 미화 34억 달러에서 미화 46억 달러로 35% 증가하였다. 러시아의 경우 당 지표는 76% 상승하였다³.

신소재 및 물질에 대한 높은 수요는 간행물 및 특허 출원 지표에도 반영되어 있다. 즉, 2016년 등 주제에 대한 세계 과학 논문은 155,000건 이상 발표되었으며, 2020년에는 그 수치가 약 212,000건에 달하였다(그림 2)

그림 2. 간행물 활동 주요 지표



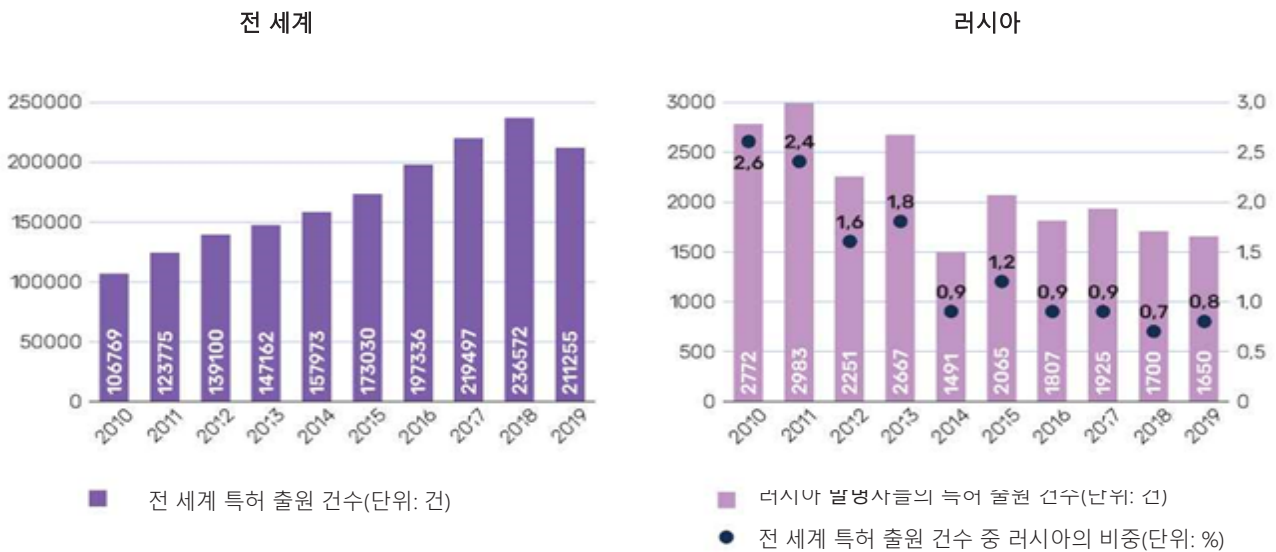
출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

³ 출처: Bauman MSTU.

2020 년 러시아 저자들의 과학 논문 수는 9,000 건을 초과하였다. 2016 년부터 2020 년까지 러시아의 논문 출판 활동 증가치는 전 세계의 논문 증가치를 능가(전 세계 36%, 러시아 41%)하였으며 2020 년의 경우 전 세계 간행물 수 중 러시아의 비중은 4.3%에 도달했다는 것이 주목할 만하다.

러시아의 신소재 및 물질 특허 출원 건수는 2011 년 최대 수치(2,900 건)에 달하였으며, 전 세계의 경우 2018 년에 최대 수치(236,600 건)에 달하였다. 지난 10 년간 러시아의 특허 출원 세계 기여도는 감소하였는데 2018 년의 경우 세계 특허 출원수의 0.8%를 차지하였다. 2019 년 러시아는 동분야에서 약 1,600 여건의 특허를 출원하였다(그림 3).

그림 3. 특허 활동 주요 지표



참고: 러시아 연방의 특허 출원 결과는 발명품 특허 신청 데이터를 기반으로 획득한 것이며, 발명 특허 출원 건수를 10~20 배 초과하는 실용신안 출원 신청은 포함되지 않았다.

출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

지난 몇 년간 신소재 및 신물질 기술 발전의 역학과 궤적은 여러 개의 추세를 꾸준히 따르고 있다.

리튬 기술의 전망은 전기 운송 개발에 따라 크게 좌우된다: 2020 년 전 세계 전기차 판매는 300 만 대를 초과했으며, 모든 주요 자동차 회사들(테슬라, 폭스바겐, 메르세데스, BMW, 도요타, 포드, 아우디, 포르쉐, 볼보, 현대, 혼다 등)은 이미 대량 생산 체제를 구축하고 있거나 관련된 장기 계획을 발표하였다. 국제 에너지기구는 2030 년까지 전 세계 전기차의 수가 총 1.45 억대에 달할 것으로 예측하고 있다.⁴

적층 기술 개발의 방향은 주로 기업의 주도로 설정된다. 예를 들어, 데스크탑메탈(Desktop Metal, 적층 기술을 사용하여 금속 제품을 생산하는 미국 기업)은 2019 년 Google, BMW 및 GE 사로부터 2 억 달러의 투자를 유치하였다. 데스크탑메탈은 금속 사출 성형과 유사한 공정한 싱글 패스 분사 기술을 자체적으로 개발하였다.

현재 가장 빠르게 성장하고 있는 기업 중 하나는 결합제 분사(액체 결합제가 선택적으로 적용되어 분말 재료에 결합하는 적층 제조 공정) 공정의 개발자인 디지털메탈(Digital Metal)이다. 동 기술을 기반으로 하는 DM P2500 금속 3D 프린터는 인쇄 매체 없이도 203x180x69mm 의 인쇄 규모를 제공한다. 이들은 적층 인쇄에 동을 사용하는 소수의 기업 중 하나이다. 디지털메탈은 몇 년 전 탄광 회사인 회가네스(Hoganas)가 인수한 바 있다.

PCM 개발은 차세대 소재 제조와 연관되어 있으며 대체로 정부의 지원에 의존한다. 2018 년 12 월, 국립복합재료센터(National Composites Centre, NCC)는 영국 정부가 복합재료 생산을 위한 새로운 첨단 디지털 기술 10 가지의 연구 개발에 최대 규모의 투자(3,670 만 파운드)를 진행한다고 발표한 바 있다. 당 투자는 영국을 동 분야 세계 선두주자로 만들기 위한 것이다.

⁴ <https://www.iea.org/news/global-electric-car-sales-set-for-further-strong-growth-after-40-rise-in-2020>

RM 및 REM 부문에서 매우 중요한 사건은 2017년 12월 17일 미국 지질조사국 보고서의 발행으로, 당 보고서는 1973년 이후 REM을 비롯한 주요 광물에 대한 미국의 수요를 분석하였다. 이어 중요 광물의 보안 및 안정적인 공급을 보장하는 전략을 개발하기 위한 미국 대통령령이 발표되었다. 동 문서에 입각하여 미국 국방부는 2020년 미국 시장에 희토류 제품을 공급하기 위해 두 개의 기업(미국 MP Materials 및 Australian Lynas)과 계약을 체결하고 자금을 지원하기 시작하였다. 결론적으로 펜타곤은 REM 산업을 지원하기 위해 총 미화 2.09억 달러를 책정하였다.

전 세계 REM 매장량의 6분의 1을 보유하고 있는 호주 정부는 새로운 매장층을 탐색하고 시장 참여자들을 지원하기 위해 미국과의 협력 프로그램을 시작하였다.

캐나다의 첫 번째이자 북미의 두 번째 REM 생산 시설에 대한 작업도 시작되었다. 호주 바이탈 메탈스(Vital Metals)사는 네찰라초(Nechalacho) 광산을 개발하고 있다. 캐나다의 서스캐처원주는 캐나다의 첫 번째 REM 생산 시설을 구축하는 사업에 미화 약 2,500만 달러를 할당하였는데, 동 시설은 정광을 농축시키고 개별 금속을 분리할 것이다. 프로젝트 개시는 2022년 하반기로 예정되어 있다.

기술

신소재 및 신물질은 많은 주제를 포괄할 수 있는 매우 유망한 과학 분야 중 하나이다. 이 중 가장 역동적이고 여러 경제 분야에서 적용 수요가 높은 부문은 적층 기술, 고분자 복합 재료, REM 기술 및 그 제품, 리튬 기술 및 디지털 소재 과학인 «서비스형 소재(MaaS)»이다(그림 4). 이중 처음 세 가지는 주요 제품 라인을 구성한다.

2010년부터 2020년까지의 기간동안 이들 기술군은 연구 개발 결과에서 두드러진 차이를 보이고 있다(그림 5). 과학 간행물 수의 측면에서 보면 가장 높은 성장은 리튬 및 REM 생산 기술과 이를 기반으로 한 제품에서 달성되었다. 2020년 러시아 저자들이 REM 생산 기술 및 디지털 소재 과학에 대한 출판 활동에 가장 크게 기여하였다(각각 18.2% 및 9.5%).

특허 출원의 경우 2010년부터 2019년까지 전 세계와 러시아에서 가장 역동적인 특허 출원수의 증가를 보인 분야는 디지털 소재 과학과 PCM 분야이다. 전 세계 특허 출원 수 중 러시아가 가장 큰 비중을 차지한 분야는 REM 기술(4.2%)이다.

기술간 차이가 상당히 크기 때문에 적층 기술, 고분자 복합 재료, 그리고 리튬 생산 기술을 포함한 희귀 및 희토류 소재 등 세 가지 주요 기술군에 대한 내용을 아래에 보다 상세히 논술한다.

적층 기술

적층 기술은 기존 생산 방식에 비해 많은 이점을 가지고 있다. 신제품 시장 출시 기간을 줄이고, 기계 가공 비용을 절감하며, 재료 사용 계수를 증가시킨다. 적층 기술에 대한 높은 수요는 항공기 제조, 우주 산업, 자동차 산업, 엔진 제조, 첨단 의료 제품 생산, 선박 건조, 원자력 공학을 포함한 전력 공학과 같은 첨단 기술 산업에서 비롯되고 있다.

러시아에서 적층 기술의 개발은 과학, 기술 및 인적 자원의 강화 측면이 있기 때문에 경쟁력 있는 신기술 개발; 우선순위의 산업 적층 기술 개발; 생산 시설의 최적화, 현대화 및 기술 재설비화 등을 포함한다. 또한 법률 및 규제 프레임워크 향상이 특히 주목되고 있다.

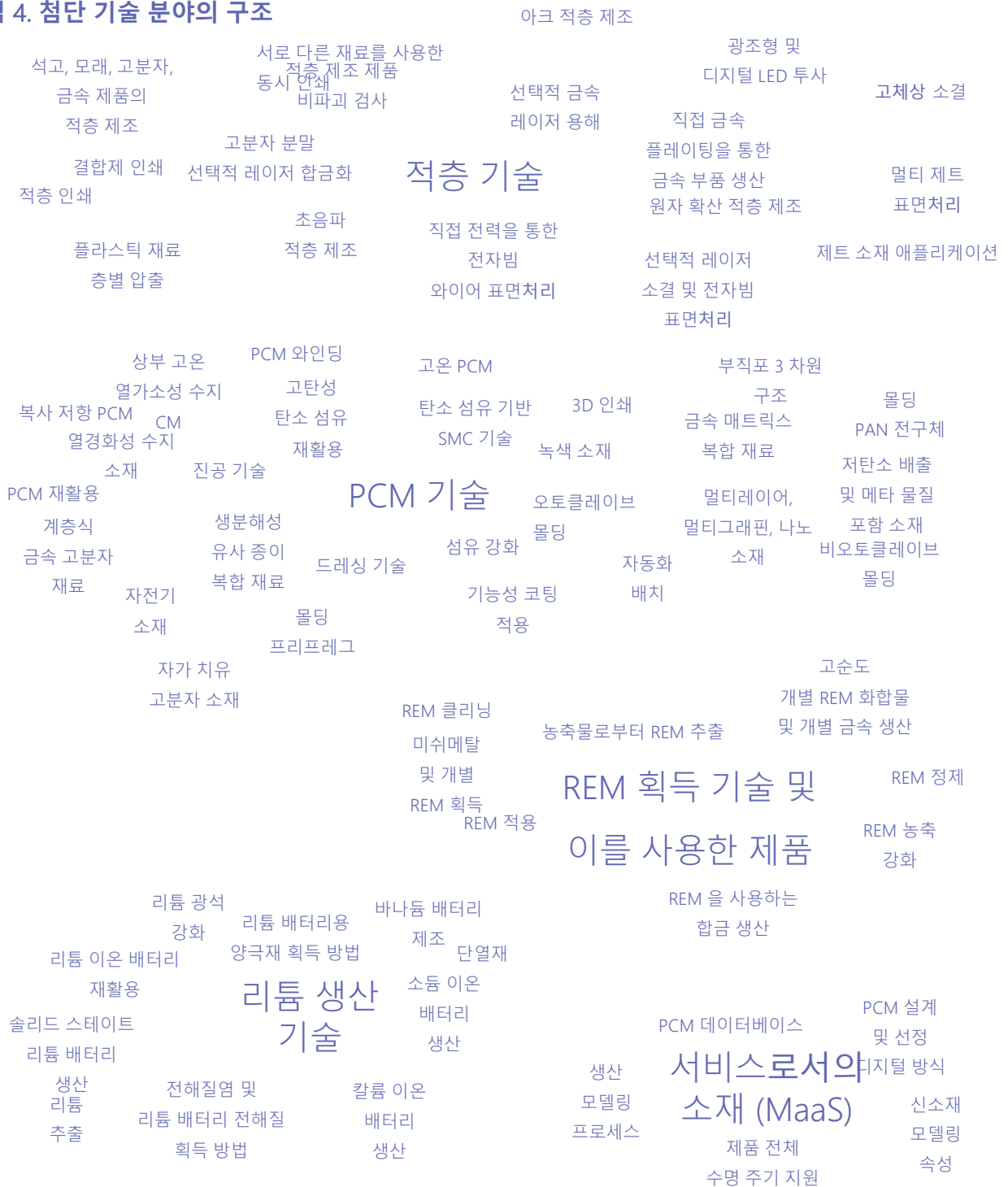
제품 및 시장

적층 기술의 시장 도입과 성장은 장비, 소프트웨어, 소재, 인종 및 교육훈련 등에 필요한 큰 선행 투자 때문에 제약을 받고 있다. 동 분야 3D 시스템을 구현하기 위한 자본 비용은 기존 생산 장비보다 높은 경우가 많다.

이에 많은 정부는 이러한 제약을 최소화하기 위해 2030년까지 적층 기술 시장을 대폭 성장시키기 위한 촉진 조치들을 도입하고 있다. 예를 들어 2017년 5월 캐나다 정부는 적층 제조 공정을 촉진하기 위해 워털루 대학에 미화 890만 달러를 지원하여 3D 실험실을 구축할 수 있도록 하였다. 중국의 경우는 경제에 있어서 제조 산업의 경쟁력을 유지하기 위해 상당한 노력을 기울였다. 중국 제조업체들은 3D 인쇄 분야의 연구 개발에 크게 투자하고 있다. 인도는 적층 기술을 세계 가치 사슬에서 점유율을 높일 수 있는 기회로 보고 있다.

홀러스 어소시에이츠(Wohlers Associates)는 코로나 19 팬데믹에도 불구하고 2020년 전 세계 적층 기술 시장이 2019년 대비 7.5% 증가해 미화 128억 달러 규모로 성장할 것이라 예측한 바 있다.

그림 4. 첨단 기술 분야의 구조

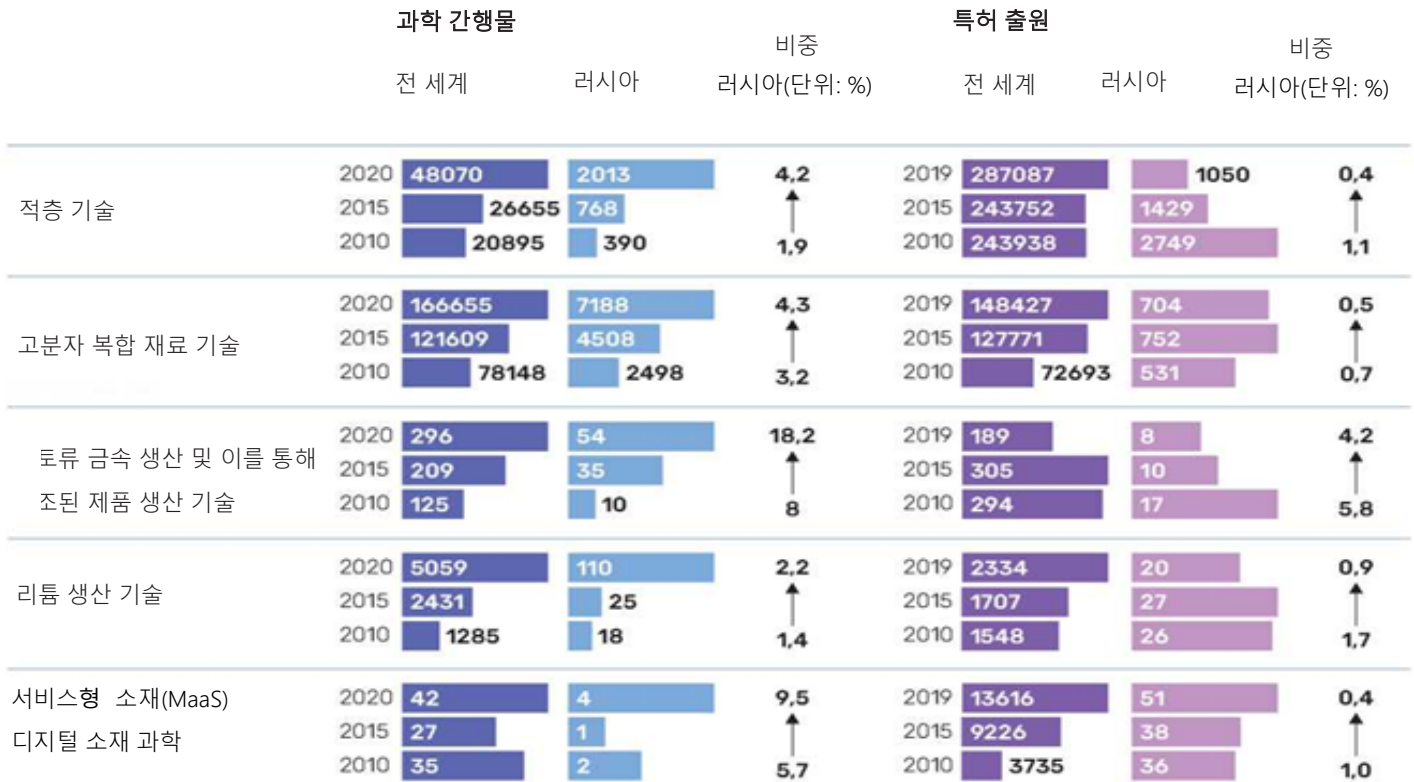


출처: NTI Platform.

동 분야 최고 성장률은 2015 - 2019 년 기간에 도달했으며 평균 연간 24%의 성장률을 기록하였다. 그 최고 정점은 2018 년에 기록하였으며(33%), 이후 수요가 점진적으로 포화되면서 시장 성장이 조금씩 둔화되고 있다.

현재 전 세계 적층 기술 시장에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 3D 인쇄 서비스 부문으로 약 59%(미화 74 억 달러)를 차지하고 있으며, 장비 부문이 24%(미화 30 억 달러), 그리고 소재 부문이 17%(미화 21 억 달러)를 구성하고 있다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 활동 주요지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

2019 년과 비교해 동 분야 시장 구조는 크게 변하지 않았으나 서비스와 소재 부문이 더욱 역동적으로 성장하였다. 그 이유는 2017- 2019 기간에 3D 프린터를 대량으로 구매한 소비자들 그 활용도를 점차적으로 늘리기 시작하면서 소재 수요의 증가로 이어졌으며, 많은 기업들이 코로나 19 팬데믹에도 불구하고 적층 기술 및 3D 인쇄 사용으로 전환하는 계획을 지속적으로 실행했기 때문이다.

인쇄에 사용하는 소재 유형에 따라 가장 성숙한 부문은 고분자 및 열가소성 수지 3D 프린터이다(금전적으로 시장 점유율의 각각 25% 및 20%). 최근 몇 년간 가장 역동적인 부문은 금속 인쇄이다 (금전적으로 3D 프린터 시장 점유율의 약 50%). 동 부문에 대한 소비자의 관심의 증가는 2016-2020 기간 동안 세계 금속 3D 프린터 시장이 가치 측면에서 두 배 이상 성장할 수 있는 동력이 되었다. 기타 부문(복합 재료, 모래, 세라믹 등)은 아직 개발 초기 단계에 있으며 가치 측면에서 적층 기술 시장의 약 5%를 차지하고 있다.

세계 3D 인쇄 재료 시장의 역학은 3D 프린터 매출 규모와 직접 연관된다. 지난 4년간 소재 시장은 두 배로 성장하여 2020년에는 2019년에 비해 9.9% 성장한 미화 21억 달러 규모에 도달하였다. 시장에서 가장 큰 부문은 광중합체(매출 규모 미화 6.3억 달러 이상, 시장 점유율 약 30%) 및 고분자 분말(미화 6.2억 달러 이상)이다. 열가소성 수지는 그 보다 약간 적은 미화 4.15억 달러(시장 점유율 약 20%)를 차지한다. 금속 소재의 점유율은 18% 이상 정도였다(미화 3.8억 달러 이상). 기타 소재(세라믹, 복합 재료, 모래, 바이오 물질)의 수요는 훨씬 적다.

주력 적층 기술 제품의 대다수는 미국 및 독일에 기반을 두고 있다. 동 부문의 주요 미국 기업으로는 3D Systems, HP, Desktop Metal(적층 산업 장비 개발)이 있다. 그 외 선두기업의 지위에는 독일의 EOS, DMG Mori, Envisiontec, Voxeljet, SLM Solutions, Trumpf 뿐만 아니라 이탈리아의 Sisma 및 영국 Renishaw 도 포함되어 있다.

국가 지원

미국, 중국, 유럽 연합, 영국을 포함한 주요국들은 10년 이상 선별된 적층 제조 기술의 개발을 활발하게 지원하여 왔다⁵. 인도에서도 마찬가지로 다양한 국가 이니셔티브(Made in India 등) 내에서 적층 기술의 개발이 수행되고 있다. 한국에서는 적층 기술 분야의 연구 개발을 위한 로드맵이 마련되어 세금 혜택을 포함한 적층 기술을 도입하기 위한 조치들이 촉진되고 있다. 영국도 3D 기술 발전 전략을 시행하고 있다.

러시아의 경우, 2021년 7월, 2030년까지 러시아 연방의 적층 기술 발전을 위한 전략이 승인되었다⁶. 러시아에서 적층 기술 개발을 위한 정부 지원 주요 계획안 중 하나는 2024년까지 시행되는 종합적인 개발 계획인 신소재 및 물질 기술에 대한 기술 개발 로드맵이다. 그 실행에는 러시아 산업무역부, 러시아 교육과학부, 국가 기술 이니셔티브(NTI) 참여자, 첨단연구기금, 러시아 벤처 기업(RVC), 혁신촉진기금, 러시아 정보기술개발기금, 러시아 기초연구재단 및 러시아 과학기금의 참여가 예상되고 있다.

발전 전망

전 세계 적층 기술 시장의 특징은 지속적으로 높은 성장률이다. 주도권은 미국이 가지고 있으며, 현재 적층 기술 시장의 35%를 점유하고 있다. 전문가들에 따르면 성장은 앞으로 몇 년간 지속되겠지만 다소 수그러질 전망이다. Bauman MSTU에 따르면 2030년에는 현 추세가 종료될 것으로 예상된다. 꾸준한 성장 동력에도 불구하고 적층 기술 및 공정은 현재 전 세계 가공제품 규모의 0.1%만 생산하는 데 활용되고 있다. 동 비중은 2035년까지 1.5%로 늘어날 전망이다⁷.

러시아의 3D 인쇄 장비 및 서비스 시장은 지난 몇 년간 수 배 성장하여 45억 루블 규모에 도달하였으며, 앞으로도 꾸준히 성장할 것으로 보인다. 로드맵에서 제시하는 조치들의 완수는 러시아 적층 기술 규모를 획기적으로 성장시킬 수 있을 것이다(2024년까지 185억 루블 그리고 2030년까지 582억 루블)⁸.

러시아에서 핵심 3D 인쇄 기술의 개발과 관련 소재에 대한 생산, 그리고 3D 인쇄용 소재 및 장비에 대한 대규모 생산은 물론 제품의 사후처리 공정용 부품 및 장비개발에 대한 계획은 2030년까지(일부는 2024년까지) 수립되어 있다. 연구 및 시험용 실험실을 포함하여 제품을 제조하고 엔지니어링 서비스를 제공하는 데 특화된 적층 기술 센터들의 설립도 계획되어 있다.

국가 적층 기술 표준도 개발되고 새로운 교육 표준과 프로그램이 도입될 예정이다.

고분자 복합 재료

고분자 복합 재료는 다양한 첨단 기술 산업에서 광범위하게 활용된다. 이에 따라 세계 최대의 항공기 제조사들은 최신 민간 항공기 모델에 PCM을 활발하게 사용하고 있다. 민간 항공기에 사용되고 있는 구조재에서 PCM이 차지하는 비율은 각각 에어버스 A350의 경우 53%, 보잉 787의 경우 50%, 봄바디어 C 시리즈의 경우 46%에 도달한다.

세계 PCM 시장의 선두주자들(Toray Group, Hexcel, Mitsubishi Group, Teijin 등)은 비즈니스 절차의 개발과 디지털화에 상당한 자금을 투자하고 있다. 선두주자들의 연구 개발 투입 비용은 연간 매출액의 약 3.5%를 차지하고 있다. 예를 들어 2020년 Toray Group은 이러한 용도로 미화 약 5.7억 달러를 책정하였다. 세계 PCM 시장 선두주자들의 핵심 전략 중 하나는 생산되는 소재의 특성을 향상시키고(보다 높은 강도와 충격 부하 혹은 극한의 환경에 대한 내향성의 증대) 새로운 종류의 제품 개발하는 것이다.

제품 및 시장

2010년까지의 오랜 기간 동안 복합 재료에 대한 시장은 연간 약 8%씩 성장하였다. 그 이후 성장률은 점진적으로 낮아져 연간 약 4%로 떨어졌다. 2020년 JEC Group에 따르면, 전 세계 PCM 시장 규모는 주요 수요 부문(운송 및 건설)에 미친 코로나 19 팬데믹의 부정적인 영향으로 물리적인 측면에서 14% 축소하였다. 2010년부터 2020년 사이 전 세계 탄소 섬유(CF) 시장은 매년 약 11% 성장하였는데, 이는 기존 소재(일례로 철강 2.4%, 알루미늄 시장 3.5%)⁹보다 몇 배나 더 큰 수치이다.

시장 구조의 특징 또한 변화하였다. 10년 전의 선두주자는 미국과 유럽이었으나 오늘날 선두의 위치는 아시아 국가(전 세계 시장의 48%)들이 차지하고 있으며, 중국이 28% 이상의 점유율을 가지고 있다. 이에 반해 북미 지역은 통틀어 시장의 25%를 차지하고 있다. 전 세계 복합 재료 시장의 주요 성장 동력은 우주 및 자동차 산업에서 경량 소재에 대한 수요의 증가이다. 건설 및 기타 산업에서는 부식 및 화학적 내성이 강한 소재에 대한 수요가 높다.

⁵ 출처: Bauman MSTU.

⁶ 2021년 7월 14일에 제정된 러시아 정부 행정명령 제 1913-r 호.

⁷ https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Get-Ready-for-Industrialized-Additive-Manufacturing-Apr-2017_tcm9-154927.pdf

⁸ 기준은 2030년까지의 러시아 연방의 적층 기술 발전 전략에서 제공.

⁹ 출처: 미국 지질조사국, JEC.

2019 년 세계 복합 재료 및 복합 재료 제품의 50% 이상은 자동차 및 건설 두 산업에서 사용하였다.

PCM 기술의 주도권은 Hexcel(미국), Toray Industries(일본), SGL Carbon SE(독일), Yumatex JSC(러시아)에서 가지고 있다. Hexcel 을 제외한 이들 기업의 특화 분야는 탄소 플라스틱이다.

PCM 시장은 유리섬유 기반 PCM(시장의 98.5%), 탄소 섬유 및 아라미드 섬유로 구성된다¹⁰.

현재 세계 복합 재료 시장에 대한 러시아의 점유율은 1%를 넘지 않는다(2020 년 결과에 따르면 미화 약 10 억 달러). 오늘날 러시아의 1인당 복합 재료 소비량은 0.5kg 인데, 선진국의 경우는 4~10kg 이다. 동 제품의 수출은 사실상 전무하다(2020 년 말까지 미화 약 7,700 만 달러)¹¹. 그럼에도 불구하고 러시아는 시장에서의 지위를 강화하기 위한 당 분야 과학 및 기술 잠재력을 보유하고 있다.

국가 지원

주요국 정부(미국, 중국, 일본, 영국 등)들은 PCM 개발에 상당한 관심을 쏟고 있다. 최근 10 년간 많은 국가는 PCM 분야의 연구 개발, 생산, 발전을 위한 이니셔티브를 구축 및 실행하였으며, 많은 경우 이미 상당히 긍정적인 결과를 얻었다. 예를 들어 미국은 총 미화 1 억 달러의 예산으로 소재 게놈 이니셔티브(Materials Genome Initiative)를 시행했으며, 얼마 후 중국에서도 유사한 이니셔티브를 시작하였다. 유럽 연합의 경우 Horizon 2020 프로그램을 통해 2014 년부터 2020 년까지 첨단 소재 및 산업 기술 개발에 2 억 유로 이상이 투입되었다. 차세대 PCM 개발 및 실현을 위한 전략 및 개발 프로그램 또한 이 지역에서 시행되었다.

러시아의 경우 로드맵은 PCM 영역의 프로젝트에 대한 다양한 국가 지원 도구를 제공하고 있다. PCM 개발부터 재활용까지 전 수명 주기로 복합 재료의 생산 기술 개발에 대한 특별한 관심이 기울여지고 있다. 동 분야는 소재에 대한 통합 디지털 데이터베이스의 구축, 디지털 트윈의 도입, 최신 PCM 제품을 활용한 제조 기술(Non-autoclave, Infusion 등)의 적극적 활용 뿐만 아니라 재활용 기술의 개발과 그 산업적 확장에 대한 가능성을 제공한다.

PCM 분야 로드맵 구현의 일환으로 많은 주요 결과를 얻을 수 있었다. 특히 연간 최대 45 톤의 고탄성 탄소 섬유 생산능력을 갖춘

시설이 구축되었고, 러시아 내 전체 탄소 플라스틱 생산 주기의 사슬이 현지화되었다. 로스아톰은 알라부가 특별 경제 구역에 연간 최대 5,000 톤의 생산능력을 갖춘 PAN 전구체 생산공장을 새로 건축하였다.

로드맵의 일환으로 연구 개발을 구축하는 핵심 방법 중 하나는 러시아 PCM 시장 주요 구성원들의 참여로 진행될 예정인 2021 년-2025 년 전 혁신 주기의 종합 과학 및 기술 프로그램 "신복합 재료: 설계 및 생산 기술"이다. 동 프로그램의 추진은 20 개 이상의 업계 기업과 러시아 과학 아카데미의 주요 기관, 그리고 국내 대학들이 참여로 이루어질 예정이다. 그 결과로 PCM 생산과 그 제품에 대한 최신 기술 패키지의 공동 개발과 광범위한 기초 연구가 진행될 것으로 기대된다.

프로그램의 일환으로 구축되는 과학적 기초의 개발을 위해 로드맵은 혁신과학기술센터(ISTC) <복합 밸리> 내에 과학 및 생산 인프라 시설을 제공한다¹². ISTC의 주요 과제는 러시아 복합 재료 시장의 참여자들에게 과학적 개발부터 소규모 생산까지 신소재 개발 주기를 실현할 수 있는 필수 인프라를 마련하는 것이다. 프로젝트는 톨라 주립대학교가 시작하였으며, 과학 파트너로 멘델레예프 화학공과대학교 및 모스크바 국립 대학교가 참여한다.

로드맵의 또 다른 부분은 수요 촉진이다. 2020 년에는 러시아 연방 내에서 제조되는 공산품 생산 확인에 대한 근거 기준이 변경된 바 있다¹³. 이에 따라 선별된 복합 재료에 대해 "러시아제" 기준이 주어지면 국가 지원 혜택에 대한 수혜가 확장될 수 있다. 러시아 수출 센터의 PCM 인증 및 인가에 대한 비용 지원도¹⁴ 재개되었다. RES CDA 2.0 프로그램의 승인으로¹⁵ 풍력 터빈에 사용되는 PCM 수요도 추가 촉진될 전망이다. 끝으로, 에너지 부문 개발에 대한 러시아 연방 국가 프로그램¹⁶ 내 «가스 모터 연료 시장 개발»과 관련하여 채택된 하위 프로그램은 복합재 가스 실린더 시장의 성장 동력이 될 것이다.

기존 소재 대신 복합 재료 및 그 제품을 구입하고 사용하는 것에 대한 비용을 일부 보상하는 조치 등 러시아산 복합 재료를 소비할 경우 이를 국가가 지원하는 시스템 환경이 갖추어지면 러시아 시장의 PCM 소비량은 2030 년까지 1,500 억 루블로 늘어날 수 있으며, 2030 년까지 러시아 PCM 이 해외 시장 진출로 1,000 억 루블 규모의 수출을 이룰 수 있을 것으로 예상된다.

¹⁰ 출처: Bauman MSTU, Yumatex JSC.

¹¹ 출처: Yumatex JSC

¹² 2021 년 1 월 21 에 제정된 러시아 연방 정부 행정명령 제 26 호.

¹³ 2015 년 7 월 17 일에 제정된 러시아 연방 정부 행정명령 제 719 호. 2020 년 3 월 12 일에 제정된 러시아 연방 정부 행정명령 제 267 호에 따라 변경 사항 승인됨.

¹⁴ 2020 년 7 월 8 일에 제정된 러시아 연방 정부 행정명령 제 1007 호.

¹⁵ RES CDA 는 특정 기간 동안 발전소 소유주와 체결한 도매 시장 수용량 제공 협의(CDA)에 따라 보장된 수용량 지분을 통해 러시아에서 재생 에너지 개발을 촉진하는 프로그램임.

¹⁶ 2020 년 3 월 2 일 월요일에 제정된 러시아 연방 정부 행정명령 제 221 호.

발전 전망

2024년까지 PCM의 주요 생산자 및 소비자는 중국이 될 것이며, 총 시장 규모의 30%를 차지하고 연평균 성장률 8%를 기록할 것으로 예상된다. 전망에 따르면 동 기간 동안 북미(점유율 25%) 및 유럽(20%) 시장의 성장률은 중국보다 낮아 약 4%일 것으로 전망된다¹⁷.

세계 PCM 시장은 디지털 소재 과학, PCM 제품 제조 및 공정 기술, PCM 비용 감소 및 대량 활용 확대 등 여러 요인의 영향을 받을 것으로 전망된다. 탄소 섬유는 세계 복합 재료 시장에서 가장 빠르게 성장하는 부문으로 지속될 것이다(약 9~11%). 기타 PCM 부문은 2~3%의 성장할 것으로 예상된다.

향후 동 분야 세계 추세(새로운 에너지, 연료 효율, 녹색 운송 등)의 영향은 이전 기간에 비해 더욱 두드러질 것이다. 2024년까지 세계 PCM의 주 소비분야는 자동차 및 건설 산업에 이어 에너지 산업이 될 것으로 보인다. 이들 산업에서 복합 재료 소비의 비중은 각각 27%(360만 톤), 26%(340만 톤) 및 12%(130만 톤)가 될 것으로 전망된다¹⁸. 특히 탄소 섬유는 풍력 발전소 분야에 그 수요가 있을 것이다. 또 수소 운송 수단의 개발 전망과 압축가스용 유형 IV 및 V 실린더의 생산 증대는 PCM의 새로운 시장을 열 것이다¹⁹. 현재 일부 연속 생산되고 있는 수소 연료 자동차의 복합 재료 비중은 이미 11~12%로 차지하고 있다(혼다 클래리티, 도요타 미라이, 현대 넥쏘 및 메르세데스-벤츠 GLC 등). 또한 열가소성 수지 복합 수소 탱크를 시장에 출시하기 위한 개발이 활발하게 진행되고 있다. PCM 소비증대의 또 하나의 동력은 전기차 시장으로, 2025년까지 매년 25~30% 성장할 것으로 전망되고 있다.

신소재 산업은 원격 서비스 디지털화 및 개발이 특별한 역할을 수행하고 있다. 디지털 기술은 제품 설계를 향상시키고 생산 공정을 최적화하며 인증 시간을 줄일 수 있다. 전문가들에 따르면 디지털화는 가까운 미래에 새로운 소재를 시장에 출시하는데 걸리는 시간을 평균 현재의 3년에서 1년으로 현저하게 단축시킬 것으로 예상된다.

세계 PCM 시장의 개발과 관련하여 복합 폐기물 처리(재활용)에 대한 문제가 심각한 상황이다. 예를 들어 매년 전 세계에서 300대 이상의 비행기가 해체되어 재활용 절차에 들어가는데, 그 중 대부분에는 PCM이 사용된다. 현재 동 문제에 대한 고유한 해결책은 복합재 부품의 재활용이다. 이는 경제적으로 가장 실현 가능하며(2차 폐기물은 재활용하여 사용량이 낮은 제품 생산에 수용 가능) 환경 친화적인 방법이다.

Lucintel의 전망에 따르면 2026년 탄소 섬유 공정의 최대 시장은 유럽 및 북미가 될 것이며, 각각 3,000톤(44.5%)

및 2,000톤(30.1%)의 CF가 처리될 것으로 예상된다. 복합재료 폐기물의 재활용과는 별도로 자동차 산업, 항공 산업, 스포츠 및 소비재로부터 발생하는 탄소섬유의 재활용에 대한 수요는 그 저렴한 비용 때문에 꾸준히 증가하고 있다.

러시아 내 PCM의 생산 및 소비 성장률이 낮은 이유는 무엇보다 저 톤 화학, 장비, 예비 부품 및 도구 부문에 있어서 러시아 복합재료 산업의 기술적인 지연이다. 전문가들의 예측에 따르면 지난 20년 동안 저 톤 화학 제품의 약 3분의 1은 수입산이다.

로드맵 실행은 이러한 문제에 대한 체계적이고 신속한 솔루션을 제공할 것이다. 계획된 이벤트들은 러시아 복합재료 산업의 참여자들(대학, 연구 기관, 생산자, 주요 소비자, 당국)을 통합된 생태계로 결합하고, 국가 지원 메커니즘을 개발하며 산업 개발 촉진 방안을 생성하는 데 목표를 두고 있다.

희귀 및 희토류 금속, 리튬 생산 기술

RM 및 REM 생산의 개발은 첨단 기술 산업의 니즈를 충족시키는 데 중요하다. 희귀 및 희토류 금속 없이는 첨단 기술을 위한 초소재(초경량, 초경질 소재 등), 형상기억 소재 및 프로그래밍 가능한 소재를 만들 수 없을 뿐 아니라 이에 기초한 부품 및 요소 기반을 만들 수 없다. 또한 RM 및 REM에 대한 관심은 재생 에너지의 수요 증가에 발 맞추어 증가하고 있다. 네오디뮴과 프라세오디뮴 등 REM은 전기 자동차 및 하이브리드 차량 생산에 사용된다.

RM 및 REM 시장의 중요성은 무엇보다도 최근 몇 년간 세계에서 지배적인 위치에 있는 공급자들인 미국과 중국 간의 무역 대립의 장이 되었다는 사실로도 확인되며, 이는 모든 국가의 공급망에 부정적인 영향을 주고 있다.

제품 및 시장

세계에서 생산되는 광물 중에서 희귀 및 희토류 금속이 차지하는 비중은 상대적으로 낮은 편이지만 RM과 REM의 생산 및 소비 증가율은 많은 전통적인 원재료를 앞서고 있다. 2018년 총 REM 생산량은 약 170,000톤이었다(전년도의 경우는 132,000톤이었다).

세계 리튬 시장은 전기차의 대량 생산 전환, 에너지 저장 시스템, 전자제품 생산의 확대, 산업용 기기 및 기타 첨단 기술 장비 덕분에 급속하게 커지고 있다. 전문가들의 예측에 따르면 2018년부터 2030년까지 리튬 소비량은 260,000~270,000톤에서 1,250,000톤의 리튬 탄산염 등가량(LCE)으로 크게 증가할

¹⁷ 출처: JEC 2020.

¹⁸ 출처: JEC 2020.

¹⁹ Lucintel, Grand View Research, MarketsandMarkets 등.

전망이다²⁰. 러시아 리튬 시장은 현재 수천 LCE 톤으로 추산되며, 2030년까지 10,000~12,000 톤으로 완만하게 성장할 것으로 예상된다.

호주(광석), 칠레 및 아르헨티나(염수), 중국(광석 및 염수)는 광물 자원 및 리튬의 생산량 측면에서 눈에 띈다. 이들 국가는 탐사된 자원의 90% 이상과 전 세계 리튬 생산량의 약 95%를 차지하고 있는데, 수성 광물 원자재(염수)로부터 리튬을 생산하면 자체 비용이 더 낮아진다.

전 세계 REM의 매장량은 약 1.3억 톤으로 추정된다. 미국 지질조사국에 따르면 2019년 세계의 REM 생산량은 약 220,000 톤이었다.

중국 기업들은 희토류 원자재 자원과 희토류 원소 생산에 대한 통제권을 확보하는 데 가장 적극적이다. 중국은 전 세계 리튬 광물 자원 기반의 최대 70%를 직접 또는 간접적으로 통제하고 있다. 최근 몇 년간의 추세는 국내로 수입하는 농축물이 증가시키는 방향으로 가고 있으며, 중국 자체의 생산은 오히려 감소하고 있다.

중국과 미국은 희토류 금속의 세계 최대 수입국들이다. 분 리된 REM을 농축 및 생산하는 기술을 사용하는 중국 생산자의 비중은 85%이다. 미국에서 REM은 캘리포니아의 마운틴패스(Mountain Pass) 광산에서만 생산되고 있으며, 동 광산은 2015년에 가동이 중단되었다가 2018년에 조업이 재개되었다.

개별 RM 및 REM 기술 개발의 경우에도 주요 제품 생산자 중 대부분은 미국과 중국에 집중되어 있다. 리튬 원자재 정련기술 분야를 주도하고 있는 기업은 간펑리튬(Ganfeng Lithium)과 천제리튬(Tianqi Lithium Corp.)이다. 리튬 기술에 대한 중국 기업들의 연간 연구 개발 투자 금액은 최대 미화 1.45억 달러이다.²¹ 미국의 경우 앨버말 코퍼레이션 (Albemarle Corporation)이 리튬 원자재 정련기술 분야를 이끌고 있으며, 2020년 연구 개발에 투입한 금액은 5,900만 달러였다.²² Sociedad Química y Minera de Chile(칠레) 또한 리튬 추출 기술에서 상당한 위치를 차지하고 있다.

러시아는 상당한 수준의 REM 매장량을 보유(전 세계 매장량의 약 17%)하고 있으며, 세계에서 중국 다음으로 가장 큰 원자재 매장지이다. 그러나 러시아는 생산량이 있어서 7위에 머무르고 있다. 러시아 리튬 원자재 공급원은 주로 광물 부지로 나타나며, 해외 염수 부지에 비해 단가가 낮고 개발 주기가 긴(최대 10년) 것이 특징이다.

국가 지원

RM 및 REM, 그리고 리튬 기술 분야를 주도하는 국가들의 주요 노력은 전략적으로 중요한 원소의 공급을 확대하는 것에 목적을 두고 있다.

예를 들어 유럽 위원회는 중국 출처 REM 공급에 대한 유럽 산업계의 의존성을 줄이기 위해 새로운 생산자들에 대한 재정적 지원을 구상하는 전략을 개발하고 있다. 2018년 Horizon 2020 프로그램은 유럽 산업에 핵심적인 REM의 개발을 위해 Secure European Critical Rare Earth Elements(SecREEs) 프로젝트에 1,700만 유로의 지원금을 책정하였다. 또한 글로벌 경쟁에 맞서 경쟁력 있고 지속가능한 배터리 산업을 육성하기 위해 유럽 배터리 연합이 설립되었다. 리튬²³을 포함한 원자재의 가용성과 제조, 기술 및 기타 부문에서 기타 분야의 협력에 특별한 관심이 모아지고 있다. 2019년, 유럽 위원회는 전기차 배터리 생산자에게 보조금으로 32억 유로를 할당하는 7개국(벨기에, 핀란드, 프랑스, 독일, 이탈리아, 폴란드, 스웨덴)의 계획을 승인한 바 있다. 또한 민간기업으로부터 50억 유로의 투자금도 예상된다.

미국에서는 희토류 금속이 핵심 광물로 간주되고 있다. 2020년 미국 정부는 전자 폐기물로부터 희토류 자석을 생산하는 텍사스 소재 '도시광산' 컴퍼니(Urban Mining Company)에 미화 2,900만 달러를 투자한 바 있다.

러시아는 동 분야 로드맵의 일환으로 연구개발에 대한 상당한 수준의 국가 지원을 계획하고 있다. 인공 자원(인산염)으로부터 REM을 생산하는 공장의 설계 및 구축이 이미 시작되었으며, 티타늄, 지르코늄, 유리 석영 모래로부터 농축광을 생산하는 TGOK Ilmenit AO 공장이 착수되고 있다.

다음의 표준화를 위한 작업도 활발하게 진행 중이다:

- 국가 표준이 구축되고, 비철금속에 대한 분류가 이루어졌으며, 그 중 희귀 금속은 별도로 구분됨.
- 국제 산업 기술 위원회 «ISO/TC 298 희토류»의 조정업무시 러시아의 이익을 대변하기 위해 «표준화를 위한 산업 기술 위원회»를 창설하여 국가 표준의 기초가 국제 표준과 맞추어질 수 있도록 하고 있음.

러시아 산업의 발전에 유리한 환경을 조성하기 위해 다음과 같은 다양한 규제 완화가 이루어졌다:

- RM 및 REM 광석 채굴을 위한 기본 MET 비율을 8%에서

²⁰ 리튬 탄산염의 등가량(LCE)은 리튬 생산의 원재료임.

²¹ 전문가 추정에 따름.

²² https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/NYSE_ALB_2020.pdf

²³ 2020년에는 리튬이 EU의 중요 원재료 목록에 포함되었음.

4.8%로 낮춤

- 지하 및 관련 수역에서 관련 광물(리튬, 요오드, 브롬, 붕소 등)의 추출이 허용됨

- 리튬이 용해된 형태로 있는 지역을 연방 중요 지하 대상에서 해제함

법률 및 규제 프레임워크를 더욱 개선하기 위해 단기적으로는 채광 공정 폐기물을 버릴 때 우라늄 방사성 폐기물(RAW) 저장 시설을 활용할 수 있도록 허용하는 연방 법률²⁴ 을 도입하고 다음을 포함한 특정 장벽들을 제거함:

- 희귀 금속 프로젝트에 대한 특정 투자 계약(SPIC) 신청 제한을 삭제함

- 산림 기금의 토지에서 지질 탐사, 탐사, 광물 추출에 대한 접근성을 개방함.

또한 시장 수요는 없지만 광석에 부산물로 함유된 광물 매장량을 국가 대차대조표에 계상하는 가능성도 고려되고 있다. 이는 광물 자원 사용에 대한 초기 일회성 비용에 상당한 영향을 미쳐 경제적으로 수익성이 없는 주요 광물(티타늄, 지르코늄, 리튬 등)을 추출하는 프로젝트를 시행할 수 있도록 할 것이다.

RM 및 REM 영역에서 프로젝트의 투자 매력도를 높이기 위해 임대료 계수를 취소하거나 변경하는 다양한 조치도 계획되어 있다.

향후에는 러시아 연방에서 생산된 RM 및 REM의 최소 구매 분담 의무 규범을 도입하고 공기업 및 국가가 참여하는 기업에 의무 할당제를 도입하며, 외부 시장의 가격이 생산 비용 아래로 하락할 경우 국내 RM 및 REM 생산자의 수익 손실분을 보조(생산 시작일로부터 첫 5년 내)하는 것에 대한 타당성을 검토하는 방안이 계획되어 있다.

이외에도 러시아에서 생산된 금속의 국가 구매 메커니즘을 사용하여 RM 및 REM의 전략적 재고를 구축하고, 기업이 전략적으로 중요한 프로젝트를 실행하기 위해 국가가 보장하는 장기 대출을 활용하는 메커니즘을 신설하며, RM 및 REM 부문에서 프로젝트를 시행하는 데 필요한 인프라에 국가의 투자를 보장하는 계획이 수립되고 있다.

발전 전망

REM 및 이를 기반한 제품의 중요성은 전 세계적으로 매우

높으며 주요국들은 REM을 확보할 수 있는 원천과 그 방법을 확대하기 위한 방안을 모색하고 있다. 이는 연구 개발에 대한 투자의 증가와 관련 주제에 대한 과학 간행물 및 특허의 증대를 통해 알 수 있다. 그러나 광업 탐사의 수가 적고, REM을 확보하는 기술이 복잡하며 그 비용이 높기 때문에 동 분야의 성장률은 지속적으로 제약을 받을 것이다.

희귀 및 희토류 금속 분야에서 러시아는 산업을 발전시키고 경쟁력을 강화하기 위해 이미 구현된 러시아 연방 국가 프로그램들의 일환으로 일정한 수준의 과학 기술 여력을 비축하고 있다. 로드맵은 높은 수준의 준비도가 갖추어진 프로젝트들의 실행계획을 포함한다. 이들의 실행은 그룹 분리 농축액 및 석고 결합제의 생산 프로젝트 등을 포함해 RM 및 REM의 부족을 해결하고 원재료 기반을 확대하며 니오븀, 스칸듐 및 REM 집적 농축물을 생산하는 시설을 조성하여 차후 수출 시장에 진출하는 등 다양한 조치를 포함한다.

러시아 산업은 일메나이트 농축물 생산 시설의 조성, 새로운 채광 및 금속공장의 건설 등 다양한 투자 프로젝트의 시행을 통해 희소 금속(니오븀, 탄탈럼, 지르코늄, 게르마늄)이 공급될 것이다.

로드맵은 그의 일환으로 리튬 원자재에 대한 접근성은 물론 원자재 가공에 필요한 인프라의 구축 그리고 러시아 매장의 개발을 보장하기 위한 프로젝트들을 시행할 예정이다. 예정된 활동들은 2025년까지 완전한 수입 대체를 효과로 보장할 것으로 예상된다.

자체 산업 개발의 주요 전제조건 중 하나는 협업 관계의 강화이다. 이를 위해 «희소 및 희토류 금속에 대한 생산자 및 소비자 협회»가 설립되었다.

원재료부터 완성품까지 생산의 연결 사슬을 구축하기 위해 러시아 연방 산업무역부와 국영기업 로스아톰은 러시아내 RM 및 REM 시장(자석, 자동차 축매, 스칸듐 알루미늄 합금, 오일 분해 축매, 고무, 광학)의 주요 관계자들과 3자간 합의 형태의 틀을 구축하여 실행하고 있다. 리튬 비즈니스 라인의 차체 개발은 러시아 혁신 기술을 활용하는 프로젝트의 시행에 있어 국제 협력을 가능하게 한다.

로스아톰에 따르면 예정된 방안들은 2030년까지 러시아 희소 및 희토류 금속에 대한 러시아 산업의 수요를 100% 충족할 것이다. 그 결과 러시아는 전 세계 시장에서 주도적인 위치를 회복하고 RM 및 REM 상위생산 5국 중 하나가 될 수 있을 것이다.

²⁴ 2011년 7월 11일에 제정된 연방법 제 190-FZ호 "방사성 폐기물 관리", Rostechnadzor 연방 규범 및 규정 nP-103-17.

첨단 우주 시스템



약어

APAA	능동 위상 배열 안테나
FOCL	광섬유 통신선
ERS	지구 원격 감지
SV	우주선
SS	우주 시스템
SSV	소형 우주선
ASS	첨단 우주 시스템
USSV	초소형 우주선
SVAP	우주선 연속조립 생산
BIC	광대역 인터넷 연결
IoT/M2M	사물인터넷, 사물통신
HTS	고속통신위성
VHTS	초고속통신 위성
VSAT	초소형 조리개 단자

오늘날 통신 및 지리 정보 공간 시스템은 모든 경제 영역에서 실질적인 수요가 큰 다양한 서비스의 실행을 가능하게 한다. 그러나 현 시점에서 제공되는 국내 솔루션은 러시아 경제의 디지털 전환 과제와 우주 정보 통신 서비스의 늘어나는 수요를 완전히 충족하지 못하고 있다. 특히 이 영역에서 해외 제품 및 서비스는 소비자 특성의 측면에서 국내 제품을 점점 더 능가하고 있으며, 재사용 가능한 발사체 시스템 도입 및 제품 양산 표준화 및 조직화는 해외 기업들이 생산 비용을 현저하게 절감하도록 하여 러시아 기관에 가격에 대한 부담을 주고 있다.

첨단 우주 시스템(ASS) 기술의 개발, 특히 다중 위성 궤도 위성군의 구축을 통해 이러한 간극을 극복할 수 있어야 한다. 이들의 주요 이점은 전송된 정보의 객관성, 효과성, 접근성과 관련이 있다. 러시아는 2022년부터 2030년까지 우주 정보 기술의 종합적인 개발에 대한 연방 프로젝트(이전의 Sphere 하위

프로그램)을 시작하였으며 러시아 연방 우주국이 이를 감독하고 있다. 프로젝트는 우주 기술 기반의 최신 제품 및 서비스에 대한 국가 및 상용 고객의 요구를 충족하기 위한 활동을 제공한다. 이를 통해 위성 통신 서비스, 디지털 방송 및 고속 인터넷 뿐만 아니라 사물의 인터넷을 러시아 연방 전역에 공급할 수 있게 된다. 또 다른 중요한 결과는 지구 원격 감지(ERS) 기술을 기반으로 경제, 사회, 국가 행정의 다양한 부문에서 기업 활동에 대해 서비스를 광범위하게 제공하는 것이다.

보고서의 본 섹션은 첨단 우주 시스템 분야의 연구 및 개발 현황 개요를 포함 전 세계 및 러시아의 첨단 우주 시스템에 대한 첨단 기술 분야의 개발 결과와 전망에 관한 평가, 시장에 존재하는 핵심 솔루션, 첨단 우주 시스템 개발에 대한 주요 국가의 지원 방안을 제시한다.

첨단 우주 시스템이란?

최근 몇 년간 첨단 우주 시스템이라는 주제는 정부 및 국영 기관 뿐만 아니라 민간 부문에서도 점점 더 높은 관심을 보여 왔다. 기술적으로 가장 발전한 국가들의 영역이었던 지구 근처 공간 탐사는 더욱 성숙하고 매력적인 비즈니스 분야가 되어 현재 거의 모든 국가와 광범위한 투자자들이 개발에 관심을 갖고 있다. 민간 및 혁신 소기업 등 신규 우주 시장 참여자들의 참여 환경이 조성되어 민간 파트너십의 형태를 포함한 첨단 로켓 및 우주 기술 개발이 진행되고 있다.

다양한 산업을 대표하는 이들의 ASS 에 대한 관심 급증은 위성 기술을 사용하는 광대역 인터넷을 제공하기 위한 새로운 기회에 기인한다. 이에 따라 2013년, 지구 원격 감지 시스템 운영자인 Planet(이전 Planet Lab)은 다중 위성 궤도 위성군 구축을 발표했다. 2015년에는 StarLink와 OneWeb이 위성 통신 시스템 개발을 선언했으며, 2017년에는 2세대 저궤도 다중 위성군 Iridium NEXT 구축이 시작되어 기존 광대역 연결 기능과 함께 움직이는 물체를 모니터링하는 서비스를 제공하게 되었다. 재사용 가능한 발사체를 통한 발사 시스템의 개발은 우주선을 궤도로 발사하는 비용의 절감을 가능하게 하여 이 분야에 새로운 기폭제가 되었다. 2010년, 미국 기업 SpaceX는 재사용 가능한 1단 로켓으로 Falcon-9 로켓을 성공적으로 발사한 바 있다.

우주선(SV) 구조의 소형화 및 경량화는 ASS 개발에 있어서 또 하나의 트렌드이다. 이는 소형 우주선으로 지구를 원격으로 감지하기 위한 저궤도 다중 위성군 조성을 가능하게 하여 측량에 필요한 처리 시간을 크게 단축하고 정보 전달 속도를 높이며 이에 대한 온라인 접근성을 제공할 수 있게 한다.

ASS 분야는 계측 기술, 다중 위성군 관리, 특히 우주선에 탑재한 경우 인공 지능을 활용한 대용량 위성 데이터 처리, 무인 항공기 및 지상 로봇에서의 정보 흐름 관리 등을 포괄한다. 여기에는 종합 연구 개발 등 상당한 투자와 이를 상업적으로 구현하기 위한 준비 단계까지 이끔 인프라 조성이 필요하다.

ASS 주제에 대한 연구자들의 꾸준하고 높은 관심은 출판 활동 지표에 잘 반영되어 있다. 2018년부터 2020년까지 해당 분야 전 세계의 연간 과학 논문 수는 7,200건을 초과하였다(그림 1). 러시아는 과학 간행물 수 기준으로 상위 10개국 중 하나로 과학 논문의 5% 이상을 차지한다.

과학 활동의 측면에서는 중국과 미국이 선두를 달리며 지난 3년간 ASS 영역에 출판된 모든 과학 논문의 절반 이상을 차지하였다. 기관별 과학 간행물 수로는 중국의 대학들(베이징 항공항천대학, 난징 항공우주대학)과 미국의 주요 과학 단체들(NASA 제트추진연구소, 캘리포니아 공대), 그리고 독일 항공우주 센터가 앞서고 있다.

ASS 영역에 대한 기업의 관심 증가는 집중적으로 증가하는 특허 출원 수에서 잘 나타난다(그림 2). 2017년부터 2019년까지 동 분야 총 특허 출원 건수는 3,000건을 넘었다.

그림 1 가행물 활동 주요 지표

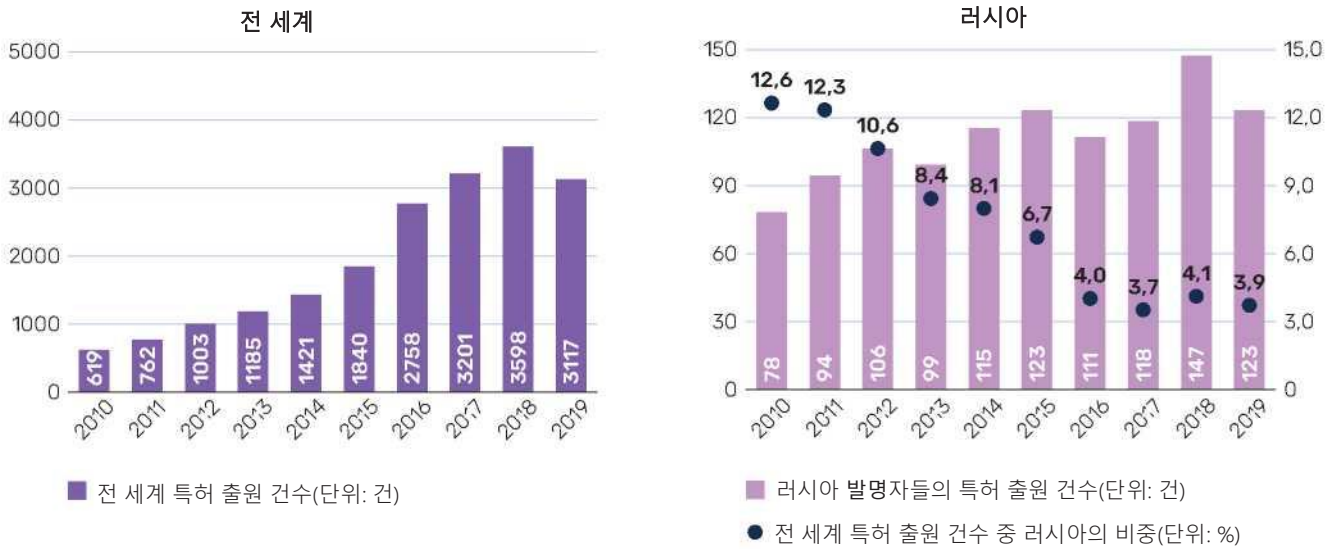


출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

중국이 상당한 차이로 앞서고 있으며 이 기간 동안의 총 출원 건수는 두 번째에 위치한 미국보다 네 배 더 높다(총 누계 6,341 건 대비 1,475 건). 러시아는 네 번째에 위치하며 한국을 앞섰다. 전 세계 특허 출원 규모에서 러시아의 비중은 4%에 불과하다.

2017년부터 2019년의 결과에 따르면 ASS 분야에서 특허 출원이 가장 활발한 곳은 미국 기업들이다. 보잉(Boeing), 제너럴 일렉트릭(General Electric), 해밀턴 선드스트랜드(Hamilton Sundstrand)와 캐나다 기업인 프랫 & 휘트니(Pratt & Whitney)이다. 러시아에서 특허 출원 수의 선두 자리는 러시아 연방 우주국의 기관들이 차지하고 있다.

그림 2. 특허 활동 주요 지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

지난 10년간 우주 산업에는 많은 변화가 있었다. 사물인터넷 및 5G 이동통신 네트워크의 발전을 포함한 디지털화 전환과정, 그리고 경제 및 사회 부문에서 전반적으로 증가하는 수요가 이에 대한 중요한 역할을 수행했다. 물류 분야를 필두로 무인 운송 및 로봇 시스템이 도입되고 지역 내 새로운 유형의 디지털 서비스가 광범위하게 확산되면서 최신 ASS에 대한 수요도 증가하고 있다. 환경 문제에 부정적으로 작용하는 오염과 관련하여 위험한 물체의 상태, 온실가스 배출량에 대한 긴급 모니터링 수단의 개발 필요성이 현저하게 증가하고 있다. 우주 데이터는 모니터링, 보안, 과학 연구 및 기타 다양한 목적을 위해 사용될 수 있다. 여기에는 외곽 지역을 포함한 국가 전역에 신뢰할 수 있는 최신 통신 및 지리 정보 인프라가 필요하다.

우주 통신 시스템은 경우에 따라 중복되며 지상 통신 인프라가 없는 지역에서는 주 시스템으로 사용된다. 오늘날 많은 서비스(의료, 교육, 레저 등)들이 디지털 형식으로 구현되며, 이는 가장 외곽 지역을 포함한 전국에 안정적인 광대역 연결을 필요로 한다. 이는 특히 화물 운송량 증가 등으로 모든 유형의 통신, 모니터링 및 위치 선정 서비스가 반드시 필요한 북극 지방과 북해 항로 개발의 경우 더욱 관련이 깊고 필요하다. 한편, 코로나 19 팬데믹은 위성 통신 및 인터넷 서비스 수요 증가의 추가적인 요인이 되었다.

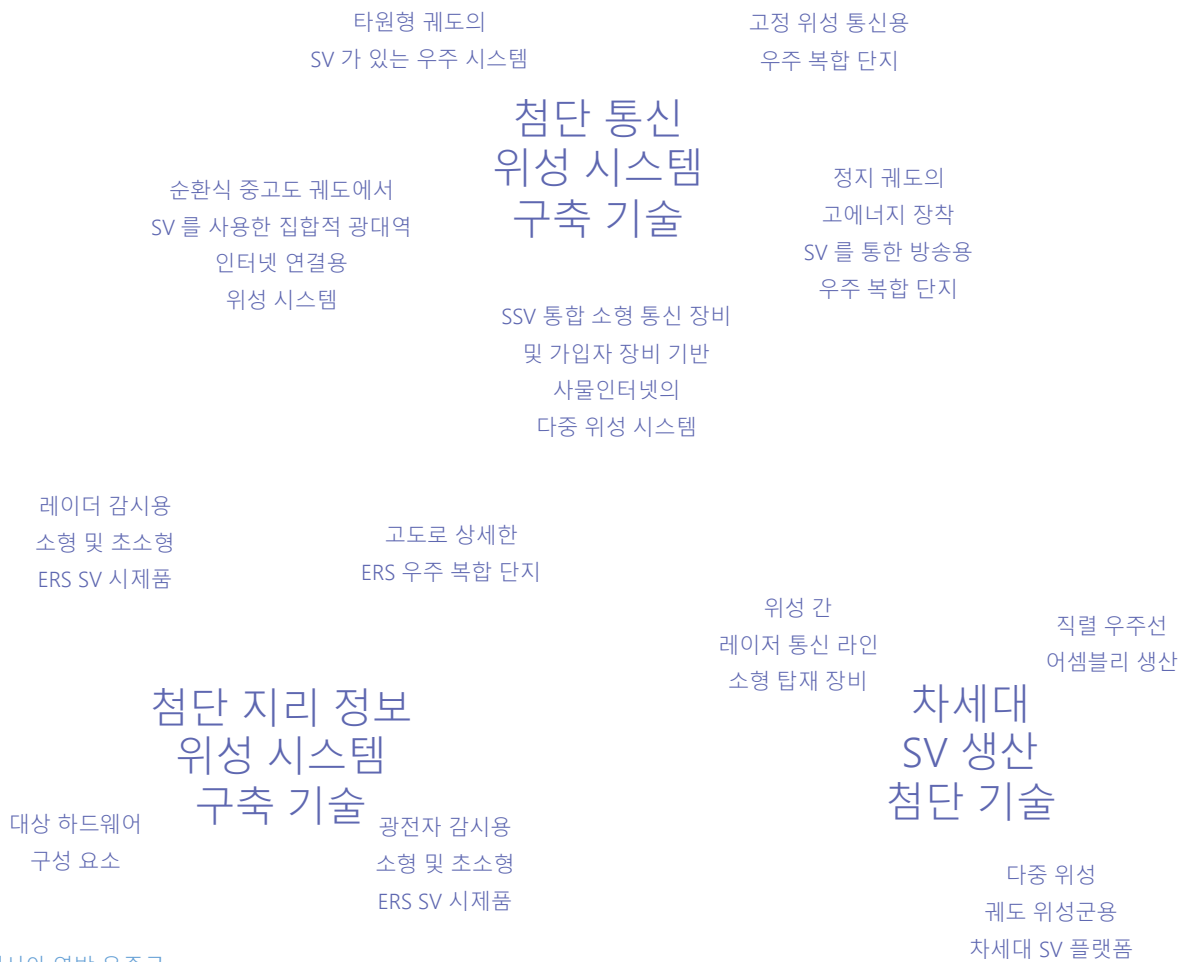
기술

전체적인 우주 시스템은 다양한 과학 및 기술 분야의 교차점에 있는 광범위한 영역이다. 여기에는 다음과 같은 기술군이 포함된다(그림 3).

1) 첨단 통신 위성 시스템을 구축하는 기술, 광대역 인터넷 연결, 방송, 음성 통신, 센서, 정보 수집, 위성을 통한 제어 명령 전송(사물인터넷).

2) 환경 보호 및 관리, 지도 제작, 수문기상학, 해양학과 같은 영역의 문제를 해결하여 러시아 및 전 세계 영역의 모니터링을 수행하기 위한 첨단 지리 정보 위성 시스템 구축 기술

그림 3. 첨단 기술 분야의 구조

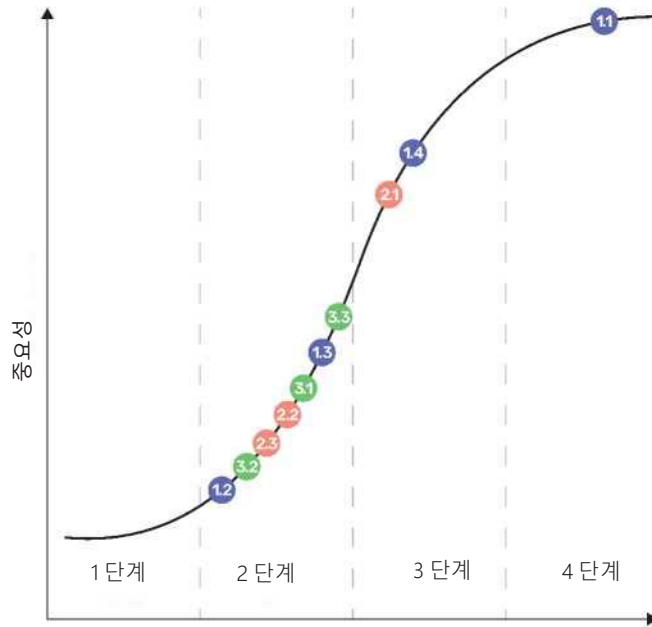


출처: 러시아 연방 우주국.

3) 차세대 우주선 생산을 위한 첨단 기술, 우주선 구축, 시험, 작동 보장, 소형 위성의 우주 플랫폼 통합, 초소형 및 소형 SV의 서비스 시스템 및 계기 범위 개발

다중 위성 궤도 위성군, SV 및 그 부품 연속 생산 관리 기술 ASS 기술군은 그 성숙 단계에 따라 상당한 차이가 있다(그림 4).

그림 4. 기술 성숙도 곡선



첨단 통신 위성 시스템 구축 기술

- 1.1 정지 궤도에서 에너지 용량이 높은 SV 를 통한 고정식 위성 통신 및 TV 방송용 우주 복합 단지 구축 기술
- 1.2 타원형 궤도의 SV 를 통한 우주 시스템 구축 기술
- 1.3 SSV 기반 다중 위성 IoT 시스템 구축 기술, 통합 소형 통신 장비 및 가입자 장비
- 1.4 순환식 중고도 궤도에서 SV 를 사용한 집합적 광대역 인터넷 액세스에 대한 위성 시스템 구축 기술

첨단 지리 정보 위성 시스템 구축 기술

- 2.1 고도로 상세한 ERS 우주 복합 단지 구축 기술
- 2.2 광전자 감시, 대상 하드웨어, 구성 요소 제조 기술을 위한 소형 및 초소형 ERS SV 시제품 개발 기술
- 2.3 레이더 감시, 대상 장비, 구성 요소 제조 기술을 위한 소형 및 초소형 ERS SV 시제품 개발 기술

차세대 SV 생산 첨단 기술

- 3.1 어셈블리를 통한 직렬 SV 생산 기술
- 3.2 위성 간 레이저 통신선 소형 탑재 장비 개발 기술
- 3.3 소형 SV 를 기반으로 다중 위성 궤도 위성군을 조성하기 위한 차세대 SV 플랫폼 구축 기술

출처: 러시아 연방 우주국.

방법론. 중요성은 기술 성숙도 수준을 특징 지으며, 적절한 유형의 간행물(과학 기사, 특허, 시장 분석)에서 지정된 기간 내의 기술에 대한 표준화된 언급을 반영한다. 연구개발의 집중도에 따른 4 단계는 다음과 같다.

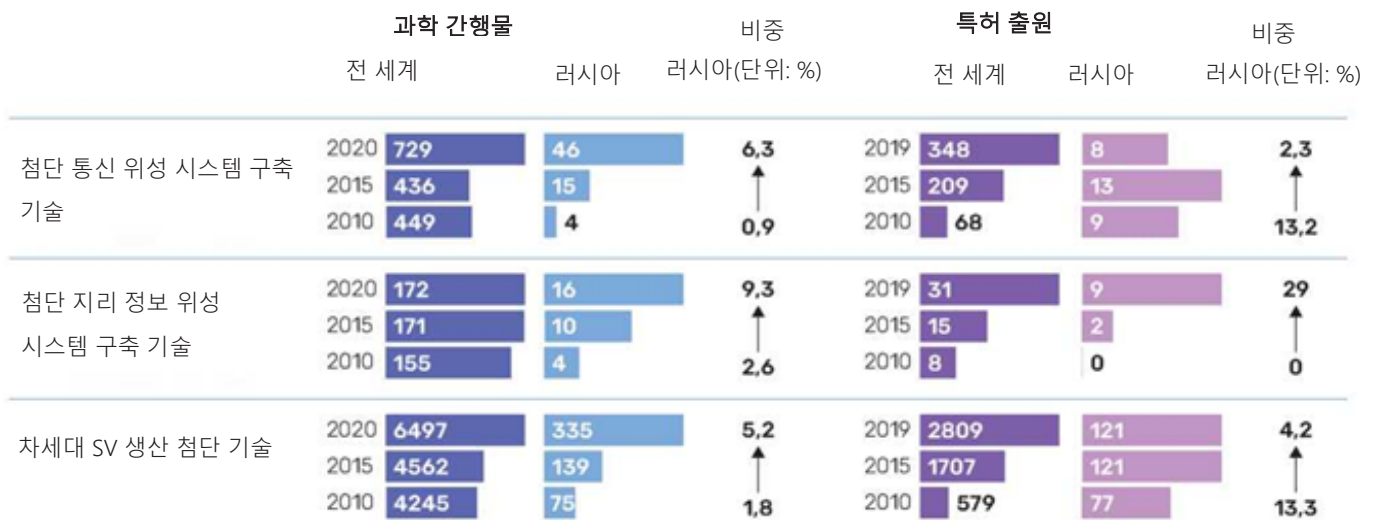
- I 단계: 기술의 등장(높은 출판 활동).
- II 단계: 기술 발전(특허 및 시장 분석의 양 증가)
- III 단계: 기술 성숙(시장 분석의 확산).
- IV 단계: 정체(출판 및 특허 수 감소, 시장 분석의 변화가 없거나 약간 감소).

현재 전세계 및 러시아에서 준비 수준이 가장 높은 부문은 기존 위성 기술로 특징지을 수 있으며, 이는 점진적으로 최신 기술로 대체되고 있다. 통신과 관련된 기타 기술군은 파일럿 프로젝트로 시장에 진입하기 시작하여 성공적으로 임무를 수행하였다. 이들의 숙달 속도는 본격적인 구축을 위한 산업의 준비 정도 뿐만 아니라 관련 연구 및 생산 인프라에 대한 투자에 크게 좌우된다. 최근 신규 우주선 생산 기술은 늘어나고 빛을 발하고 있다. 기존 SV 모델은 개선되고 새로운 SV 의 유형이 개발되며, 다양한 우주선 부품 생산에 적응 기술이 도입되고 있다. 또한 인공지능의 도입 등 다양한 우주선 시스템(내비게이션, 제어

등)의 현대화가 진행 중이다. 이러한 기술군의 발전은 SV 운영 및 유지 보수 부문의 발전을 아울러 촉진하고 있다. 스타트업을 포함한 더욱 많은 유망 공급업체들도 참여하고 있다.

기술군별로 보면 연구 개발 집중도에 상당한 차이가 나타나고 있다. 전 세계와 러시아에서 차세대 SV 생산을 위한 첨단 기술은 과학 간행물 및 특허 출원의 수에서 다른 기술군을 앞선다(그림 5). 각 기술군에 대한 전 세계 과학 간행물 코퍼스에 대한 러시아 연구진의 기여도는 연평균 전체 첨단 우주 시스템 영역에서 러시아 간행물이 차지하는 비중과 상응한다.

그림 5. 기술군별 간행물 및 특허 활동 주요지표



출처: HSE 대학교 통계 연구 및 지식 경제 연구소

모든 ASS 기술에 대해 전 세계 특허 출원 활동의 변천은 간행물 활동보다 상당히 역동적이다. 특히, 첨단 통신 위성 시스템 분야의 특허 출원 규모는 매우 빠르게 확대되고 있다(2010년 수준과 비교에 2019년 5 배 이상 증가). 비교적 새로운 분야인 지리 정보 위성 시스템 기술에서 연구 및 특허 출원의 규모는 아직 다른 기술군에 비해 부각되지 않는 편이다.

광범한 소비자층의 이득 면에서 많은 ASS 기술 개발 프로젝트는 정부 프로그램 솔루션을 상업화하여 시장에서 비즈니스의 참여의 촉진을 포함한 모델을 바탕으로 포괄적인 협력을 기반으로 한다.

제품 및 시장

다음은 주요 ASS 기술군의 전체적인 제품 및 서비스 범위를 나타낸다.(표 1). 대부분의 관련 시장은 초기 단계이며, 향후 비즈니스의 디지털 전환을 통해 빠르게 성장하여 위성 데이터를

포함한 여러 유형의 데이터와 이를 기반으로 하는 서비스에 대한 수요가 증가할 것으로 예측된다.

표 1. 전 세계 ASS 개발 수준

번호	기술	응용 분야	글로벌 시장 기업	전 세계 개발 수준		
				2020	2024	2030
1. 첨단 통신 위성 시스템 구축 기술						
1.1	정지 궤도에서 에너지 용량이 높은 SV를 통한 고정식 위성 통신 및 TV 방송용 우주 복합 단지 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 통신 ● 로켓 및 우주 산업 	위성 제조업체: Airbus Defense and Space, Thales Alenia Space, Boeing, Northrop Grumman, SSL, Israel Aerospace Industries(IAI), China Great Wall Industry Corporation(CGWIC), Mitsubishi Electric SV 운영업체: SES, Intelsat, Eutelsat, Telesat, Sky Perfect JSAT			
1.2	타원형 궤도의 SV를 통한 우주 시스템 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 통신 ● 로켓 및 우주 산업 	Northrop Grumman, Lockheed Martin, NEC			
1.3	SSV 기반 다중 위성 IoT 시스템 구축 기술, 통합 소형 통신 장비 및 가입자 장비	<ul style="list-style-type: none"> ● 통신 ● 로켓 및 우주 산업 	주요 업체: Orbcomm, Iridium, Inmarsat, Globalstar 신규 업체: Astrocast, Kepler, Fleet Space, Swarm Technologies			
1.4	순환식 중고도 궤도에서 SV를 사용한 집합적 고속 광대역 인터넷 액세스 우주 시스템 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 통신 ● 로켓 및 우주 산업 	주요 업체: O3b(SES)—적도 벨트만 해당, O3b(m-power)			

번호	기술	응용 분야	글로벌 시장 기업	전 세계 개발 수준		
				2020	2024	2030
2. 첨단 지리 정보 위성 시스템 구축 기술						
2.1	고도로 상세한 ERS 우주 복합 단지 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 건설업 ● 농업 부문 ● 석유 생산 ● 마이크로일렉트로닉스 ● 환경 관리 ● 로켓 및 우주 산업 	Airbus, Maxar			
2.2	광전자 감시, 대상 하드웨어, 구성 요소 제조 기술을 위한 소형 및 초소형 ERS SV 시제품 개발 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 건설업 ● 농업 부문 ● 석유 생산 ● 환경 관리 ● 로켓 및 우주 산업 	BlackSky, Planet, Satellogic			
2.3	레이더 감시, 대상 장비, 구성 요소 제조 기술을 위한 소형 및 초소형 ERS SV 시제품 개발 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 건설업 ● 농업 부문 ● 석유 생산 ● 마이크로일렉트로닉스 ● 로켓 및 우주 산업 	Capella, Iceye			
3. 차세대 우주선 생산 첨단 기술						
3.1	어셈블리를 통한 직렬 SV 생산 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 위성 서비스 운영업체 ● 로켓 및 우주 산업 	SpaceX, OneWeb Satellites(OneWeb 과 Airbus Defense and Space 의 합작 투자)			
3.2	위성 간 레이저 통신선 소형 탑재 장비 개발 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 위성 서비스 운영업체 ● 로켓 및 우주 산업 	시스템: EDRS, Starlink, LeoSat, Telesat			
3.3	소형 SV 를 기반으로 다중 위성 궤도 위성군을 조성하기 위한 차세대 SV 플랫폼 구축 기술	<ul style="list-style-type: none"> ● 위성 서비스 운영업체 ● 로켓 및 우주 산업 	SV 제조업체 광대역: Thales Alenia Space, Airbus Defence and Space, SpaceX, OneWeb Satellites IoT/M2M 생산자 SV: SpaceQuest, Clyde Space, Tyvak, GomSpace, Swarm Technologies			

전 세계 개발 수준: 낮음 중간 높음

출처: 러시아 연방 우주국.

각 기술군은 발전하면서 다른 무엇보다도 해당 응용 분야의 작업 및 기술적 특징에 따라 다양한 트렌드가 결정된다.

1. 첨단 통신 위성 시스템 구축 기술

통신 위성 시스템은 고정 및 이동통신, TV 방송, 광대역 인터넷 접속을 제공한다. 전 세계 시장은 통신 우주선, 지상 통제 단지, 통신 페이로드 모듈, 유동적인 디지털 페이로드 장치, 능동 위상 배열 안테나(APAA), 초소형 조리기개 단자(VSAT), 가입자 통신 단말기 등을 제공한다.

2015년부터 위성 TV 부문은 소비자 선호도가 주문형 콘텐츠로 변화함에 따라 부정적인 방향으로 발전하고 있다. 반면, 페이로드가 유연한 고성능 HTS 및 VHTS 위성에 대한 수요는 증가하고 있다.

차세대 통신 네트워크의 발전과 함께 주요 시장 플레이어들은 새로운 하드웨어 및 장비에 투자하고 있다. 미국의 경우, 지구 정지 궤도 통신 위성 사업자들은 궤도 위성군을 현대화하고 있다. 2020년에는 모바일 5G 사업자를 위해 c-밴드를 확보하는 미국 정부 프로그램의 일환으로 인텔샛(Intelsat) 및 SES는 위성을 교체하기 위해 맥사(Maxar), 노스롭 그루먼(Northrop Grumman) 및 보잉(Boeing)에 10대의 우주선을 주문했다.

산업 참여자들은 다양한 이점(광범위한 영역, 비용 감소 등)이 있는 타원형 궤도에서 위성을 사용하는 가능성에 대해 연구하고 있다. 지금까지 그 중 소수의 전망 있는 프로젝트만이 실행되었다. 북극 지역에서는 비정지 궤도 HTS 위성에 대한 수요가 가장 크게 증가할 것으로 예상된다.

위성 통신을 통한 북극 지역의 서비스 제공에 특별한 관심이 모이고 있다. 2019년, 북극 위성 광대역 미션(ASBM) 프로젝트의 일환으로 노스롭 그루먼이 지구 정지 궤도 위성 서비스 지역을 넘어서 광대역 통신을 제공하는 이중 위성 시스템을 개발하는 계약을 체결했다. 각 우주선은 인마샛(Inmarsat), 노르웨이 국방부, 미국 공군의 네트워크에 대한 페이로드를 탑재할 것이다.

통신 시장에서 진보된 부문 중 하나는 사물의 인터넷 위성으로 2020년 가입자 수는 340만 명을 초과했으며, 2025년에는 1,500만 명 이상으로 증가할 것으로 전망된다.¹ 동 분야에 대한 수요가 증가하는 것은 무엇보다도 지상 통신 시스템을 통한 영역 범위가 제한적이기 때문이다(현재 지구 표면에서 단 10%만 대상). 소형 우주선을 기반으로 하는 위성 사물의 인터넷 가입자 수가 가장 많은 곳은 오브콤(Orbcomm)으로, 이들은 IoT/M2M 우주 통신을 위해 설립된 최초의 기업이다. 최대

10kg의 나노위성을 기반으로 하는 여러 위성 IoT/M2M 프로젝트가 동시 구현되고 있다. 아스트로캐스트(Astrocast), 케플러(Kepler), 플릿스페이스(Fleet Space), 스웜(Swarm)은 자사 우주선을 궤도에 올려 솔루션을 테스트하고 있으며 관련 서비스를 제공하기 시작했다. 본격적인 시스템 구축은 2024년에 완료될 예정이다.

현재 여러 기업들이 전 세계 시장에서 우주선을 사용하는 집합적 고속 광대역 인터넷 연결 부문에 중사하고 있다. 적도 벨트를 대상으로 하는 유일한 시스템인 O3b(SES 회사)는 중궤도에서 운영된다. 이와 더불어 2022년에는 차세대 O3b(m-power) 위성군이 중궤도 위성 기반으로 발사될 예정이다. 1세대 및 2세대 OneWeb 시스템 뿐만 아니라 SpaceX의 스타링크(StarLink)가 저궤도에서 운영되고 있다. 한편, 첨단 러시아 스키프(Skif) 위성군은 특정 주파수 대역 사용에 따라 스타링크 궤도 위성군에 비해 이점을 가지고 있다. 중국은 자체 시스템을 구축할 계획을 가지고 있으나 준비를 위한 타임라인은 아직 결정되지 않았다. 아직까지 전 세계를 대상으로 서비스하는 업체는 없다.

2. 첨단 지리 정보 위성 시스템 구축 기술

지리 정보 위성 시스템 시장은 데이터 처리 장치 및 장비를 다룬다. 여기에는 레이더 페이로드 모듈, 통합 소형 우주선(SSV) 플랫폼, 전천후 고주기 모니터링 우주선, 정보 수신, 처리, 전파를 위한 지상 복합 단지가 포함된다. 이러한 시스템은 매우 상세한 중간 해상도의 측량 및 레이더 데이터 등 다양한 유형의 ERS 데이터를 처리한다.

주요 해외 기업 및 컨소시엄에서는 소형 및 초소형 SV로 구성된 수많은 ERS 궤도 위성군을 저궤도로 발사시키고 있다. 러시아 시장에서 동 분야는 이제 겨우 탄력을 받기 시작했으며, 첫 번째 단일 발사는 최근에 이루어졌다.

동 기술군의 발전은 1차적으로 솔루션의 기술 개발 발전과 관련되어 있다. 주요 제조사들의 고도로 상세한 ERS 시스템(초고해상도)은 해상도를 0.3m까지 높이고 상호 다른 궤도 및 응답기 위성을 사용하며, 이를 통해 궤도 위성군의 위성 수를 줄이는 동시에 주파수를 유지하고 측량 품질을 개선할 수 있다.

주요 소형 및 초소형 광전자 SV 사업자들은 스펙트럼 채널을 추가(최대 8개)하고 측량 간격을 줄여(일일 1~2시간에서 5~15분) 시스템 품질을 개선하고 있다. 해상도는 동일한 수준(1~3m)으로 유지하고 있다.

주요 소형 및 초소형 레이더 SV 사업자들은 측량 해상도를 높이고(0.25~0.5m) 궤도 위성군을 6~14kA로 확대하여 장비

¹ 출처: Berg Insight. 자세한 내용은 다음 링크를 방문하십시오. <https://media.bergsight.com/2021/10/08215038/bi-satelliteiot-ps.pdf>

특성을 개선하여 측량 빈도를 일일 한 시간으로 늘린다.

3. 차세대 SV 생산 첨단 기술

우주선 생산 첨단 기술에는 추진 시스템(탈격 및 플라스마 엔진 포함), 탑재 페이로드 장비, 서비스 시스템, 방향(온도계, 자이로스코프) 및 통신(위성 간 통신 장비, 레이저 데이터 전송 단말기) 등 다양한 시스템 솔루션이 포함된다. 이외에도 에너지 공급(태양열, 축전지) 솔루션이 중요한 역할을 수행한다. 다양한 목적의 소형 우주선은 별도의 첨단 기술군을 형성한다.

동 분야의 대세는 소형 SV의 연속 생산체계 구축이다. 주요 시장 플레이어들의 노력은 우주선의 무게를 줄이고 비용을 절감하며 생산 주기를 줄이는 데 초점을 두고 있다. 예로 OneWeb 시스템 우주선의 양산은 2019년 7월 플로리다의 1만 평방 미터의 부지에서 시작되었다. 2020년에는 147.7kg의 SV를 하루 평균 1.5대 생산했으나 연말에는 우주선당 50~100만 달러의 비용으로 목표치인 하루 2대의 SV를 생산하게 되었다. 같은 기간 SpaceX는 260kg의 SV를 하루 6대 생산하였다.

첨단 기술 중 레이저 통신선에는 많은 장점이 있다(기술적 특성 동시 개선을 통한 장비 중량 및 크기 감소 등). 일부 주요

광대역 위성 사업자들은 위성 간 레이저 통신선 사용을 계획하고 있다. 일부 스타링크 우주선은 해당 기술을 2세대 스타링크 SV에 탑재하기 위한 시험 및 의사 결정을 위해 이미 이러한 시스템을 갖추고 있다. 리오셋(LeoSat) 및 텔레셋(Telesat) 시스템에도 위성 간 연결이 고려되고 있다.

SpaceDataHighway 기반의 유럽 데이터 중계 시스템(EDRS)은 국가 수준의 이니셔티브 중 하나이다. 센티넬(Sentinel) 위성과 향후의 플레아데스 네오(Pleiades Neo) ERS SV도 레이저 데이터 전송에 초점을 두고 있다. 첨단 레이저 기술의 발전으로 해당 시스템은 실시간에 가까운 모드에서 최대 1.8Gbps로 안전한 데이터 전송이 가능해진다.

다중 위성 시스템 구축을 위해 표준화된 SV 플랫폼이 개발되고 있으며, 이를 통해 구축 비용을 절감하고 SV의 신뢰성을 높이며 생산 시간의 단축을 보장할 수 있다. SV 생산 선두주자들은 다양한 목적의 SSV에 적합한 통합 플랫폼을 사용하고 있다. 첨단 위성 시스템 IoT/M2M의 측면에서는 중량이 최대 10kg의 큐브위성(CubeSat) 표준 소형 우주선 플랫폼이 널리 사용되고 있다.

국가 지원

첨단 우주 시스템 개발 및 구현에 대한 세계 관행상 궤도 위성군 개발 및 신규 위성 기술은 국가 프로그램 내에서 지원되고 있다. 미국, 중국, 유럽, 일본에서 첨단 우주 기술 개발을 목표로 한 대규모 프로그램들이 실행되고 있다.

유럽 연합의 Horizon Europe 연구 혁신 프로그램은 2021년부터 2027년까지 디지털 기술, 산업 및 우주 산업 클러스터의 발전을 지원하기 위해 150억 유로 이상을² 투입하고 있다. 주요 목표는 우주 데이터를 기반으로 하는 관련 서비스를 제공하기 위해 우주 인프라를 개발, 구축하고 활용하는 데 있어 EU의 자주성을 성취하는 것이다³. 그 실현에 대한 중요한 메커니즘은 유럽 파트너십을 형성하는 것으로, 이를 통해 전 세계에서 경쟁력 있는 우주 시스템을 구축할 수 있을 것이다. EU는 2030년까지 전 세계 통신 위성 시장 점유율 50%를 달성하여 지구 관측 시스템 선두 위치를 차지하고 발사 서비스 비용을 50%까지 줄이며, 우주 운송 관련 서비스 수를 두 배로 높인다는 계획을 세우고 있다.

EU는 스타트업, 중소기업 포함한 EU 우주 기업들의 기업가 정신을 개발하기 위해 해커톤 및 경진대회, 멘토링, 비즈니스 촉진 프로그램 등을 포함한 별도의 프로그램을 마련하고 있다⁴. 민간 우주 비즈니스의 경우 벤처 투자를 촉진하기 위해 특별 기금을 통한 재정적 지원도 제공하고 있다. 이외에도 제안된 솔루션을 실제 환경에서 시연 및 시험하기 위한 환경이 마련되고 있다.

일본 우주항공연구개발기구(JAXA)에서도 유사한 이니셔티브를 시작했다. 파트너십 및 공동창조를 통한 우주 혁신(J-SPARC) 프로그램은 민간 기업과의 파트너십을 구축하여 우주 활동 분야에서 기업 설립을 촉진하는 것을 목표로 두고 있다⁵. 동 프로그램은 광학 위성, 데이터 사용 및 전송, 로봇, 우주 폐기물 제거 솔루션 등의 기술을 개발하는 다양한 프로젝트를 포함하고 있다.

러시아의 우주 시스템 개발은 러시아 우주 활동에 대한 2022~2030년 러시아 연방 국가프로그램의 종합적인 우주 정보 기술 발전에 관한 연방 프로젝트 내에서 진행되고 있다. 또한 2019~2025년까지 혁신 개발을 위한 러시아 연방 우주국 프로그램을 통해 첨단 우주 시스템 개발을 위한 방안이 규정되어 있다.

이러한 계획이 본격적으로 실행되면 북극 영역 및 북해 항로를 포함한 러시아 영토 전역에 위성 통신 서비스, 디지털 방송 및 고속 인터넷 접속을 등의 서비스가 제공될 것으로 예상된다. 연방 프로젝트는 러시아 전역에 사물의 인터넷 위성 서비스 제공의 기초를 마련하도록 설계되었다. 경제 및 사회적 영역의 다양한 부문에서 관심 있는 단체는 ERS 서비스를 사용할 수 있다. 다중 위성군을 구축하기 위해 우주 정보를 수신, 처리, 저장, 배포하기 위한 지상 복합 단지도 만들어질 것이다.

² <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f107d76-acbe-11eb-9767-01aa75ed71a1>

³ https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/european-partnerships-horizon-europe/candidates-digital-industry-and-space_en

⁴ https://ec.europa.eu/defence-industry-space/eu-space-policy/space-research-and-innovation/cassini_en

⁵ https://global.jaxa.jp/press/2020/07/20200707-1_e.html

발전 전망

첨단 우주 시스템은 획기적인 분야로, 장기적인 관점에서 동 분야에 성과를 내는 국가는 전략적인 경쟁력을 보장받을 수 있을 것이다. X선 기술 도입은 농업 및 임업, 광업, 건설, 운송 및 물류, 정보 통신, 교육, 공공 운영과 같은 부문에 부가가치의 성장을 위한 상당한 기회를 열어 주었다.

연방 프로젝트는 각 ASS 기술군에 대한 발전 가이드라인을 제공하고 있다. 이러한 중요한 단계를 달성하면 첨단 우주 시스템 발전에 있어 질적으로 새로운 단계로 도약할 수 있을 것이다.

1.첨단 통신 위성 시스템 구축 기술

지구 정지 궤도에서 우주선을 통해 우주 복합 단지를 구축하는 작업의 일환으로, 2030 년까지 인구 저밀도 지역을 포함한 러시아 전역에 광대역 인터넷 연결을 제공하고, HD, 4K, 8K 형식의 직접 및 분산형 고화질 TV 방송을 제공하는 계획이 수립되었다. 위성 트렁크 채널 가용성이 확장됨에 따라 광대역 가용성이 증대되고 공중, 해상, 지상 운송 경로의 정보 및 통신 인프라 품질이 향상될 것으로 예상된다. 러시아 연방의 북극 영토 일부를 대상으로 위성통신 및 방송이 시작될 전망이다.

익스프레스(Express) 및 야말(Yamal) 위성 통신 시스템 개발은 경제 및 사회적으로 디지털 전환 과제를 충족하는 지속가능한 통신 환경을 형성하고, 국가 위성 통신 시스템의 대역폭 수용량을 확장하기 위한 것이다. 이는 접근성 확대, 품질 개선, 그리고 새로운 위성 통신 및 방송 서비스 도입을 통해 달성할 수 있다.

Express-RV 시스템은 국내 외곽 지역 및 접근이 어려운 지역에 방송 및 통신을 제공하고, 북해 항로를 포함한 북극 지역 전역에 신뢰할 수 있는 고속 통신 및 무선 인터넷을 제공하기 위해 설계되었다. 새로운 위성 통신 및 방송 서비스는 상업 부문의 주요 시장인 대중교통(항공기, 선박, 장거리 열차, 시외버스) 및 개인차량(차량 및 트럭) 사용자에게 제공될 것이다.

소형 우주선 Marathon IoT 를 기반으로 사물의 인터넷 서비스를 제공하는 다중 위성 시스템의 구축으로 모든 부문의 소비자에게 내비게이션 서비스를 제공하게 될 것이다. 그러나 농업 부문 및 경제의 기타 부문의 운송에 있어 대규모 무인 및 로봇 시스템을 구현하는 것은 아직 가능하지 않을 수 있다.

집단 고속 광대역 인터넷 연결 스킵(Skif)의 우주 기반 시스템은 러시아 전역 및 전 세계의 고정 및 이동식 물체가 인터넷에 연결할 수 있게 해 줄 것이다. 동 시스템은 트렁크 및 구내 광섬유 통신선(FOCL)의 신속한 백업과 외곽 및 접근이 어려운

지역의 LTE 및 5G 형태 이동통신 연결을 가능하게 할 것이다. 이를 통해 항공, 해상, 하천 및 육로에 고속 인터넷 접속망이 구축될 뿐만 아니라 관련된 다양한 기술 과제(IoT/M2M)들이 시행될 것이다.

2.첨단 지리 정보 위성 시스템 구축 기술

현재 러시아 시장은 해외 ERS 시스템의 데이터를 기반한 서비스가 주도하고 있다. Smotr ERS 시스템 구축의 목표는 외국 위성 이미지 공급업체에 대한 의존성을 없애는 것이다. 동 시스템은 경제 및 공공 행정 등 다양한 영역에서 ERS 기술의 광범위한 시행을 통해 다음과 같은 수많은 업무 및 작업의 효율성을 개선할 수 있도록 할 것이다.

- 천연자원 관리: 천연 자원 불법 사용의 시의 적절한 감지를 통해 피해 최소화
- 임업 및 농업 부분: 작업 효율성 증대, 토양 침식 방지 등
- 추출 산업: 원산지 탐사 및 개발, 광물 추출 및 운송 등의 비용 절감. 에너지 인프라 시설 모니터링 및 운영 효율 증진, 관련 자본 및 운영 비용 절감 등
- 건설: 보다 시의 적절하고 총체적인 정보 확보, 작업량 조절, 시설 운영 비용, 환경 피해 최소화 등을 통해 건물 설계 및 건설 비용 절감
- 응급 및 구조 서비스: 응급상황의 시의 적절한 감지 및 예방 조치를 통한 사고 및 재난으로 인한 손실 절감

다른 분야로는 지구 표면을 정밀하게 측량하고, 이러한 작업을 바탕으로 대기 및 우주 시스템(SS)을 무선 스캔하여 소형 우주선 궤도 위성군(Sfera-SSV) 뿐만 아니라 초소형 우주선(Sfera-USSV)을 구축하는 것이다. 이를 통해 ERS 위성 시스템의 상호 연결로 우주 정보 인프라를 형성할 수 있다.

우주에서 지구를 레이더로 감시하는 솔루션은 ERS 데이터 제공을 통해 잠재적인 소비자에게 정보 지원의 효율성과 완성도를 높일 수 있을 것이다. 산업, 농업, 운송 및 정부에서 이러한 데이터를 사용하면 다양한 경제 활동의 효율성과 그 효과를 상당히 증진할 수 있다.

3. 차세대 SV 생산 첨단 기술

우주선 연속조립 생산(SVAP)을 계획하는 것은 하나의 생산

현장에서 압축적으로 우주 장비 조립 및 시험의 완전한 기술 주기를 형성하는 첨단 기술 분야의 주요 단계로, 이를 통해 전 세계의 주요 우주 장비 생산자들의 표준 수준에 맞추어 다양한 목적으로 최신 우주선을 구축할 수 있다. SVAP 는 신뢰할 수 있는 국내 통신 및 ERS 우주선에 대한 러시아 사업자들의 요구 사항을 충족할 것이다.

SVAP 실행은 생산 시간 및 비용을 절감하고, 고품질 장비의 생산과 궤도에 오른 우주선의 장기간 운영, 그리고 단일 현장에서 SV 를 조립 및 시험할 수 있는 가능성을 보장할 수 있다.

전 세계 위성 통신 네트워크의 수용력을 증진하고자 하는 글로벌 트렌드에 따르면 위성 간 레이저 연결 분야에 대한 연구가 계속 진행될 전망이다. 그 결과에 따라 저궤도 SV 간 레이저 통신을 제공하기 위한 저 질량 탑재 장비에 대한 시제품이 개발될 것이다.

또한 소형 SV 를 기반한 다중 위성 궤도 위성군용 차세대 우주 플랫폼 뿐만 아니라 제품 수명 주기 설계 및 관리를 위한 자동화된 SV 의 디지털 트윈이 구축될 예정이다. 이는 다양한 크기 및 목적의 차세대 우주 플랫폼을 위한 통합 서비스 시스템 및 첨단 SV 를 위한 유망한 하드웨어 시제품 개발을 가능하게 할 것이다.

향후 몇 년간 위성 기술을 통해 확보한 정보에 대한 액세스는 삶의 질, 기업 경쟁력 혹은 제품 뿐만 아니라 모든 선진국의 인프라, 운송 시스템, 산업, 운영 시스템, 통신 및 보안에도 중요한 역할을 할 것이다.

첨단 우주 시스템의 발전은 우주 정보 통신 기술과 필요한 경제개발 과제에 해당하는 통신 및 지리 정보 시스템의 개발 및 구현 속도를 높일 수 있도록 할 것이다. 고정 및 이동통신, 광대역 통신 및 사물의 인터넷, ERS 등 첨단 기술 위성 서비스를 포함한 최신 서비스가 광범위한 기업에 제공될 수 있을 것이다. 이를 통해 제품 경쟁력을 높이고 국가 차원의 생산 효율성을 증진할 수 있을 것이다. 예정된 프로젝트와 그 추진방안을 성공적으로 실행하여 첨단 기술의 국내 생산 비중이 높아짐으로써 러시아는 전 세계 위성 시장에서 경쟁할 수 있게 될 것이다.

결론

기술적 진보, 새로운 네트워킹 및 플랫폼 사업 모델, 기타 첨단 기술 분야의 개발 흐름을 통해 사회경제 발전의 미래를 가능케할 수 있다. 대다수 전문가들은 백서에 제시된 일련의 영역에서 획기적인 기술 도입으로 인한 기대 효과에 대해 낙관적인 전망을 제시하고 있다.

디지털 전환에 대한 관심이 증가하면서 인공 지능, 5세대 이동통신(5G), 사물 인터넷, 생산 및 인터넷 통신 분야 신기술, 분산원장 기술과 같은 영역의 발달을 촉진하는 사회경제적 환경이 조성되고 있다. 최근 몇 년간 지속된 폭발적인 시장의 성장은 앞으로도 이어질 것으로 전망된다. 글로벌 시장에서 기술 기업 간의 경쟁이 심화되는 상황에서 기존의 기회를 최대한 활용하는 동시에, 경쟁력 있는 제품 및 서비스를 개발해 러시아 국내 및 해외 시장에 진출하는 것이 중요할 것으로 보인다.

에너지 전환은 전 세계 경제 어젠다의 우선 순위 중 하나로 자리잡고 있다. 파리 협정에서 설정한 전 세계 에너지 전환 목표는 2050년까지 탄소 중립을 달성하는 것으로, 실질적 이산화탄소 대기 배출량을 0으로 만드는 것을 목표로 하고 있다. 이에 따라 전력 전환 기술 및 분산형 스마트 그리드, 수소 에너지 및 천연 가스 기반 산업용 운송 수단의 탈탄소화, 그리고 에너지 저장 시스템의 중요성이 강조되고 있다.

일부 분야의 시장은 여전히 개발 초기 단계에 있지만 오늘날에도 혁신적 솔루션 개발이 지속되고 있다. 현 시점에서 전 세계는 양자 기술을 기반으로 한 새로운 기술적 혁명의 임계점에 있다고 볼 수 있다. 2025년부터 2030년까지 양자 컴퓨터 대규모 도입이 예측되는 상황에서 양자 기술 없이는 기술의 주도권을 확보하기 어렵다. 이에 따라 러시아 기업들은 전 세계 양자 기술 경쟁에 본격적으로 뛰어 들고 있다.

첨단 기술 분야 발전에 수반되는 다양한 리스크에도 주목할 필요가 있다. 이 중 가장 큰 리스크로는 연구 개발 및 생산 시설에서 수입산 부품 및 설비에 대한 높은 의존도가 있다. 뿐만 아니라 경제 제재 및 기타 제한 조치는 첨단 기술 제품 생산에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 러시아에서는 차세대 국산 마이크로전자 산업의 발전 및 부품 생산 기반 구축에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이외에도 혁신 솔루션에 필요한 역량을 갖춘 전문 인력 부족이 기술 발전을 저해할 가능성이 있는 요소로 꼽힌다.

애플, 마이크로소프트, 구글, 아마존, 테슬라, 메타, 엔비디아, 텐센트, 삼성, 알리바바, 스페이스 X 등의 세계적 대기업들이 글로벌 신기술 시장 개척의 선두에 서 있다. 이들은 산업 전반의

플랫폼을 구축하는 역할을 맡고 있다. 기술 대기업들은 인적 자원과 경영 및 투자 잠재력을 기반으로 글로벌 시장에서 대규모 프로젝트의 동향을 면밀히 분석하여 유망한 분야의 확장을 주도한다.

마찬가지로 러시아의 경우에도 대기업(스베르뱅크, 로스텔레콤, 로스텍, 로스아톰, 러시아 연방우주공사, 로세티, 러시아 철도청, 가즈프롬 등)이 첨단 기술 분야 발전을 이끌고 있다. 이들의 주요 역할 중 하나는 혁신 제품 및 서비스에 대한 수요를 형성하는 것으로, 이를 통해 국가 경제에 큰 기여를 하고 있다. 선도 기업들은 관련 산업을 연계하고, 특히 해당 기술 분야에 특화된 대학 및 연구 기관의 연구 활동에 장기적인 가이드라인을 제시하여 중소기업이 가치 사슬에 참여할 수 있도록 한다.

특정 기술 분야에서 연구 개발 관심도(출판 활동), 결과의 상용화(특허 출원) 및 시장 개발 관련 수치가 빠르게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 일부 분야의 경우 혁신 활동 및 투자 성과 지표, 그리고 해당 분야의 발전에 대한 기타 주요 지표가 동시에 증가하는 추세가 관찰되었다. 주요 국가 중 유일한 선도 국가를 꼽기는 어렵지만, 대부분의 지표에서 미국과 중국이 다른 국가들을 훨씬 앞서고 있다. 중국은 특허 출원에서 50% 이상의 점유율(신소재 및 물질 기술 - 76.3%, 휴대용을 포함한 전력 저장 시스템 구축 기술 - 75.1%, 사물 인터넷 - 74.4%)을 차지하며, 논문 출판 수 대비 특허 출원 수가 크게 앞서 있다. 이는 중국에서는 응용 과학이 역동적으로 발전하고 있으며, 기초 연구 결과가 효율적으로 활용되고 있다는 것을 방증한다.

러시아는 연구 출판 활동에 있어 7~8위(첨단 우주 시스템, 양자 통신) 및 19위(5세대 이동통신, 사물인터넷)를 차지하며, 특허 출원 활동에서는 4~6위(첨단 우주 시스템, 신소재 및 물질 기술, 송전 및 분산형 스마트 그리드 기술, 휴대용을 포함한 전기 에너지 저장 시스템 구축 기술)에서 20~30위의 경계(5세대 모바일 네트워크 18위, 분산원장 기술 21위)에 머무르고 있다. 많은 영역에서 러시아의 기술적 성장 속도는 세계 평균을 훨씬 앞서고 있다. 하지만 중국이 과학 간행물 하나당 평균 두 건의 특허를 출원할 때 러시아의 해당 비율은 약 0.2에 그쳤다. 또한 러시아에는 주요 선진국에 비해 스타트업의 수가 극히 적고, 시장 가치가 10억 달러 이상의 첨단 기술 민간 기업을 일컫는 '유니콘 기업'이 전무한 실정이다. 이러한 상황에서 국가 예산 지원을 받는 러시아 대학 및 연구 기관의 많은 아이디어와 개발 성과가 해외로 유출되어 추후 높은 마진이 더해진 가격으로 수입되고 있다.

이에 따라 가까운 시일 내에 다음과 같은 조치가 시행될 예정이다.

- 기술 선도 기업, 스타트업, 대학, 연구 기관 및 역량 센터를 포괄하는 기술개발 생태계 구축.

기술개발 생태계를 통해 관련 기관들이 국가 지원 방안을 바탕으로 연구 개발, 혁신 제품 및 서비스 생산에 참여할 것으로 기대된다. 선두 기업을 주축으로 하는 산학 협력이 추진될 것이다.

- 신기술의 개발 장벽 완화 및 기술 구현 가속화에 유리한 환경 조성.

경제·사회적 영역에서 첨단 기술 솔루션의 시험 및 상용화 절차는 실험적인 법적 제도(규제 샌드박스) 및 기타 규제 메커니즘에 의해 가속화될 수 있다.

- 연구 개발 및 생산을 위한 효과적인 교육 시스템 구축 및 첨단 기술 솔루션 수요 지원.

기존 프로그램에 따른 교육을 진행하고, 과학 및 기술 발전 추세 및 국내 첨단 기술 산업의 인력 수요에 부합하는 새로운 교육 과정을 도입한다. 기업, 과학 및 교육 기관이 참여하는 공동 연구 프로그램에 대한 지원 또한 제공될 예정이다.

- 2030년까지 러시아의 사회경제적 발전을 위한 '등대프로젝트'(무인 물류 경로 구축, 자율 배송, 무인 항공 화물 운송, 개인용 의료 기기, 전기차 및 수소차) 및 기타 이니셔티브를 실행할 수 있는 기술적 솔루션 개발.¹

러시아 과학기술 산업은 세계 시장에서 기술 격차를 따라잡고, 더 나아가 경쟁우위를 달성하는 과제를 마주하고 있다. 현재 상황에서 러시아 기업이 해외 시장에 자리잡기 위해서는 정부의 적극적인 지원이 필수적이다. 오늘날 글로벌 시장에서 가장 앞서있는 기업들은 개방적인 비즈니스 모델을 도입했으며, 컨소시엄과 생태계의 구축을 통해 성장하고 있다. 따라서 기술개발에 있어 신뢰를 기반으로 한 파트너십이라는 실리적인 협력방안을 고려할 필요가 제기된다. 이는 혁신적인 경제 발전을 위한 대안으로 평가된다. 이외에도 첨단 기술 분야 지원 정책의 실행에 있어 선두 기업 및 관련 산업계의 협력없이 성과를 창출하기 어렵다는 점이 강조된다. 정부와 산업의 협업 관계 구축이 빠르게 변화하는 시장에서 장기적인 경쟁력에 결정적 역할을 하는 것으로 평가된다.

¹ 2021년 10월 6일 승인 러시아 행정명령 제 2816-r 호

첨단 기술 분야별 발전 현황과 전망 백서

편집자 M.Yu.Sokolova, L.D.Eidelkind

아트 디렉터 O.V.Vasiliev

디자인 I.V.Tsygankov

컴퓨터 레이아웃 A.H.Korzun,
T.Yu.Koltsova, V.V.Puchkov

National Research University
Higher School of Economics
101000 Moscow, 20 Myasnitskaya St.
인쇄 IRM-1 Printing House OOO
140000 Moscow Region, Lyubertsy,
38 Initsiativnaya St.
Tel.: +7 (495) 740-00-77

첨단 기술 분야별 발전 현황과 전망 백서

발행일 2023.10.24

발행처 한러과학기술협력센터

주소 Shabolovka 31G

문의 rusntnews@korustec.or.kr/
+7-499-322-41-96