



**Congressional
Research Service**

Informing the legislative debate since 1914

떠오르는 군사 기술:

의회의 배경 및 이슈

2022년 11월 1일 업데이트

의회 연구 서비스

<https://crsreports.congress.gov>



R46458

2022년 11월 1일

첨단 기술 및 글로벌 보안 분야의 **켈리 세일러 (Kelley M. Saylor)** 애널리스트

떠오르는 군사 기술: 의회의 배경 및 이슈

의회 의원과 국방부 관리들은 미국의 국가 안보를 강화하고 미국의 경쟁국들과 보조를 맞추기 위해 새로운 군사 기술을 개발하는 데 점점 더 집중하고 있습니다. The 미군은 오랫동안 분쟁에서 우위를 점하고 미국의 국가 안보를 보장하기 위해 기술적 우위에 의존해 왔습니다. 그러나 최근 몇 년 동안 기술은 급속히 발전하고 있으며, 주로 상업 부문의 발전으로 인해 급속히 확산되고 있습니다. 척 헤이글 전 국방부 장관이 지적했듯이, 이러한 발전은 미국의 전통적인 군사적 우위 원천을 약화시킬 위협이 되고 있습니다. 미국 국방부(DOD)는 이러한 추세를 막기 위해 여러 가지 이니셔티브를 시작했습니다. 예를 들어, 2014년에 국방부는 군사 및 안보 목적과 관련 전략, 전술, 작전 개념을 위해 새로운 기술을 활용하기 위한 노력인 제3차 오프셋 전략을 발표했습니다. 이 전략을 지원하기 위해 국방부는 국방 혁신 부서와 국방 전쟁 게임 조정 그룹 등 국방 혁신에 중점을 둔 여러 조직을 설립했습니다.

최근에는 2018 국방 전략에서 미국의 국가 안보가 다음과 같이 될 가능성이 높다고 언급하면서 제3차 상쇄 전략의 토대를 반영했습니다.

급속한 기술 발전과 전쟁의 성격 변화의 영향을 받음.... 첨단 컴퓨팅, "빅 데이터" 분석, 인공 지능, 자율성, 로봇 공학, 지향성 에너지, 초음속, 생명 공학 등 새로운 기술은 미래의 전쟁에서 싸워 이길 수 있도록 하는 바로 그 기술입니다.

마찬가지로 2022 국방 전략은 인공지능, 양자 과학, 자율성, 생명 공학 및 우주 기술이 전쟁을 변화시킬 잠재력을 가지고 있다고 언급합니다. 미국은 이러한 기술 개발의 선두주자입니다. 그러나 주요 전략적 경쟁국인 중국과 러시아도 첨단 군사 기술 개발에 꾸준히 진전을 보이고 있습니다. 이러한 기술이 국내외 군대에 통합되고 배치됨에 따라 국제 안보의 미래에 중대한 영향을 미칠 수 있으며, 자금 지원과 프로그램 감독 측면에서 의회의 중요한 초점이 되어야 할 것입니다.

이 보고서는 미국, 중국, 러시아의 일부 신흥 군사 기술에 대한 개요를 제공합니다:

- 인공 지능,
- 치명적인 자율 무기,
- 극초음속 무기,
- 지향성 에너지 무기입니다,
- 생명공학, 그리고
- 양자 기술.

또한 이러한 기술을 모니터링하거나 규제하기 위한 국제기구 내 관련 이니셔티브에 대해 논의하고, 신흥 군사 기술이 전쟁 수행에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 고려하며, 의회가 고려해야 할 관련 이슈에 대해 간략하게 설명합니다. 이러한 문제에는 신흥 기술에 대한 자금 지원 수준과 안정성, 신흥 기술에 대한 관리 구조, 기술 인력 채용 및 유지와 관련된 문제, 빠르게 진화

하는 이중 용도 기술의 획득 프로세스, 도난 및 수용으로부터 신기술 보호, 신기술의 거버넌스 및 규제가 포함됩니다. 이러한 문제는 의회의 승인, 예산, 감독 및 조약 체결에 영향을 미칠 수 있습니다.

콘텐츠

소개	1
인공 지능(AI)	2
미국	4
중국	5
러시아	6
국제 기관	7
의회에 대한 잠재적 질문	8
치명적인 자율 무기 시스템(LAWS)	8
미국	9
중국	10
러시아	11
국제 기관	11
의회에 대한 잠재적 질문	11
극초음속 무기	11
미국	12
중국	13
러시아	14
국제 기관	15
의회에 대한 잠재적 질문	16
지향성 에너지(DE) 무기	16
미국	17
중국	18
러시아	19
국제 기관	19
의회에 대한 잠재적 질문	20
생명공학	20
미국	21
중국	22
러시아	23
국제 기관	24
의회에 대한 잠재적 질문	24
양자 기술	25
미국	26
중국	27
러시아	28
국제 기관	28
의회에 대한 잠재적 질문	28
전쟁 수행을 위한 신형 기술의 잠재적 의미	28

의회를 위한 이슈	30
자금 조달 고려 사항	31
관리	31
인사	33
인수	34
지적 재산권	35
공급망 보안	35
기술 보호	35
거버넌스 및 규제	36
감독	36

그림

그림 1. 이미지 인식에서의 AI 실패	3
그림 2. 국방부 차관실의 선택적 보고 구조	
연구 및 엔지니어링(R&E)	33

연락처

저자 정보	37
-------------	----

소개

의회 의원과 국방부 관리들은 미국의 국가 안보를 강화하고 미국의 경쟁국들과 보조를 맞추기 위해 새로운 군사 기술을 개발하는 데 점점 더 집중하고 있습니다. The 미군은 오랫동안 분쟁에서 우위를 점하고 미국의 국가 안보를 보장하기 위해 기술적 우위에 의존해 왔습니다. 그러나 최근 몇 년 동안 기술은 급속히 발전하고 있으며, 주로 상업 부문의 발전으로 인해 급속히 확산되고 있습니다. 척 헤이글 전 국방부 장관이 지적했듯이, 이러한 발전은 미국의 전통적인 군사적 우위 원천을 약화시킬 위협이 되고 있습니다.¹ 국방부(DOD)는 최근 몇 년 동안 이러한 추세를 막기 위해 여러 가지 이니셔티브를 추진했습니다. 예를 들어, 2014년 국방부는 군사 및 보안 목적과 관련 전략, 전술 및 작전 개념을 위해 신형 기술을 활용하기 위한 노력인 제3차 오프셋 전략을 발표했습니다.² 이 전략을 지원하기 위해 국방부는 국방 혁신 부서와 국방 전쟁 게임 조정 그룹 등 국방 혁신에 중점을 둔 여러 조직을 설립했습니다.

최근에는 2018 국방 전략에서 미국의 국가 안보가 다음과 같이 될 가능성이 높다고 언급하면서 제3차 상쇄 전략의 토대를 반영했습니다.

급속한 기술 발전과 전쟁의 성격 변화의 영향을 받음.... 첨단 컴퓨팅, "빅 데이터" 분석, 인공지능, 자율성, 로봇 공학, 지향성 에너지, 초음속, 생명 공학 등 새로운 기술은 미래의 전쟁에서 싸워 이길 수 있도록 하는 바로 그 기술입니다.³

마찬가지로 2022 국방 전략은 인공지능, 양자 과학, 자율성, 생명공학, 우주 기술이 전쟁을 변화시킬 잠재력을 가지고 있다고 지적합니다.⁴ 미국이 이러한 기술 개발의 선두주자이지만, 주요 전략적 경쟁자인 중국과 러시아도 첨단 군사 기술 개발에 꾸준히 진전을 보이고 있습니다. 이러한 기술이 국내외 군대에 통합되고 배치됨에 따라 이러한 기술은 의회의 고려 사항과 국제 안보의 미래에 중대한 영향을 미칠 수 있습니다.

이 보고서는 미국, 중국, 러시아의 일부 신형 군사 기술에 대한 개요를 제공합니다:

- 인공지능,
- 치명적인 자율 무기,
- 극초음속 무기,
- 지향성 에너지 무기입니다,

¹ 척 헤이글 국방부 장관의 연설, "국방 혁신의 날 개막 기초연설", 2014년 9월 3일, <https://www.defense.gov/Newsroom/Speeches/Speech/Article/605602/>.

² 제3차 상쇄 전략은 미국의 군사적 우위를 유지하기 위한 전략입니다. 이는 각각 핵무기와 정밀 유도 탄약 체제의 1차 및 2차 상쇄 전략을 계승합니다. 밥 워크 국방부 차관보의 연설을 위해 준비된 발언, "국방대학 소집", 2014년 8월 5일, <https://www.defense.gov/Newsroom/Speeches/Speech/Article/605598/>.

³ 미 국방부, "2018 미합중국 국방 전략 요약", 2018, 3페이지, <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf>.

⁴ 미 국방부, *2022 미합중국 국방 전략*, 2022년 10월, 19페이지, <https://media.defense.gov/2022/Oct/27/2003103845/-1/-1/1/2022-NATIONAL-DEFENSE-STRATEGY-NPR-MDR.PDF>에서 확인할 수 있습니다.

- 생명공학,
- 그리고 양자 기술.

또한 이러한 기술을 모니터링하거나 규제하기 위한 국제기구의 관련 이니셔티브에 대해 논의하고, 새로운 군사 기술의 잠재적 영향을 고려하며, 의회가 고려해야 할 관련 이슈를 간략하게 설명합니다. 이러한 이슈는 의회의 승인, 예산, 감독 및 조약 체결에 영향을 미칠 수 있습니다.

인공 지능(AI)⁵

미국 정부는 인공 지능에 대한 공식적인 정의는 없지만, 정책 입안자들은 일반적으로 인간 수준의 인지가 가능한 컴퓨터 시스템을 지칭하기 위해 AI라는 용어를 사용합니다. 인공지능은 다시 좁은 의미의 인공지능, 일반 인공지능, 인공 초지능의 세 가지 범주로 나뉩니다.

좁은 의미의 인공지능 시스템은 학습된 특정 작업만 수행할 수 있는 반면, 일반적인 인공지능 시스템은 특별히 학습되지 않은 작업을 포함하여 광범위한 작업을 수행할 수 있습니다. 인공지능은 "거의 모든 관심 영역에서 인간의 인지 능력을 크게 뛰어넘는" 시스템을 말합니다.⁶ 일반적인 AI 시스템과 인공 슈퍼인텔리전스는 아직 존재하지 않으며 앞으로도 존재하지 않을 수 있습니다.⁷

좁은 의미의 인공지능은 현재 미국과 경쟁국 모두에서 다양한 군사 애플리케이션에 통합되고 있습니다. 이러한 응용 분야에는 정보, 감시 및 정찰,⁸ 물류, 사이버 작전, 지휘 및 통제, 반자율 및 자율 주행 차량 등이 포함되지만 이에 국한되지 않습니다. 이러한 기술은 부분적으로 인간 작업자를 보강하거나 대체하여 더 복잡하고 인지적으로 까다로운 작업을 수행할 수 있도록 지원합니다. 또한 AI 지원 시스템은 (1) 운영자의 입력에 의존하는 시스템보다 훨씬 빠르게 반응하고, (2) 분석에 사용할 수 있는 데이터의 기하급수적인 증가에 대처하며, (3) 스워밍(무인 차량이 자율적으로 협력하여 임무를 수행하는 협력 행동)과 같은 새로운 개념의 작전을 가능하게 하여 적의 방어 시스템을 압도함으로써 전쟁에서 우위를 차지할 수 있습니다.

그러나 좁은 의미의 AI는 여러 가지 문제를 야기할 수 있습니다. 예를 들어, 이러한 시스템은 학습 데이터 또는 모델의 결과로 알고리즘 편향이 발생할 수 있습니다. 연구자들은 시스템이 학습된 이미지의 다양성 부족으로 인해 AI 얼굴 인식 프로그램에서 인종 편향 사례를 반복적으로 발견했으며, 일부 자연어 처리 프로그램에서는 성별 편향이 발생하기도 했습니다.⁹ 이러한 편향은 군사적 맥락에서 AI 애플리케이션에 중요한 영향을 미칠 수 있습니다. 예를 들어, 탐지되지 않은

⁵인공 지능에 대한 자세한 내용은 CRS 보고서 R45178, *인공 지능과 국가 안보*(켈리 M. 세일러 저)를 참조하세요.

⁶닉 보스트롬, *초지능: 경로, 위험, 전략*(영국 옥스퍼드: 옥스퍼드 대학 출판부, 2014).

⁷좁은 인공 지능과 일반 인공 지능에 대한 논의와 일반 인공 지능의 미래에 대한 다양한 전문가 의견을 보려면 Nick Bostrom, *초지능을 참조하세요: 경로, 위험, 전략*(영국 옥스포드: Oxford University Press, 2014)을 참조하세요.

⁸정보, 감시 및 경찰에 대한 논의는 CRS 보고서 R46389, *강대국 경쟁을 위한 정보, 감시 및 경찰 설계*(Nishawn S. Smagh 작성)를 참조하세요.

⁹브라이언 바렛, "국회의원들은 더 이상 안면 인식의 편견을 무시할 수 없다", *Wired*, 2018년 7월 26일,

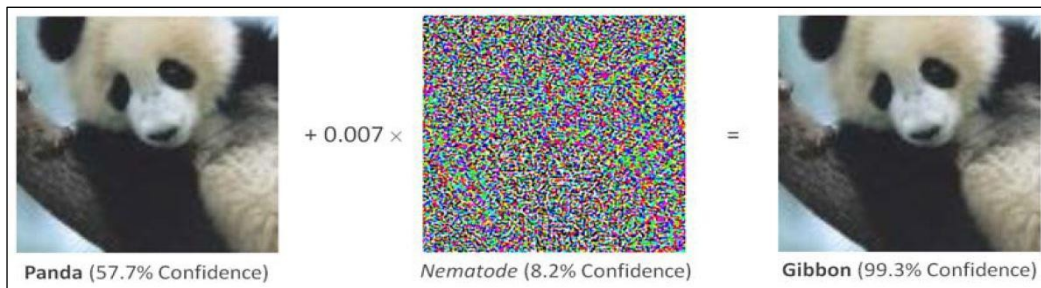
<https://www.wired.com/story/amazon-facial-recognition-congress-bias-law-enforcement/>; 윌 나이트, "실리콘밸리의 성차별적 알고리즘을 고치는 방법", *MIT Technology Review*, 2016년 11월 23일,

<https://www.technologyreview.com/s/602950/how-to-fix-silicon-valleys-sexist-algorithms/>.

치명적인 영향을 미치는 시스템에 대한 편견은 신분을 오인하여 민간인이나 비전투원을 의도치 않게 살해하는 사례로 이어질 수 있습니다.

마찬가지로, 좁은 AI 알고리즘은 예측할 수 없는 비정상적인 결과를 생성하여 군사 시스템에 통합될 경우 예기치 않은 실패로 이어질 수 있습니다. 흔히 인용되는 이 현상의 데모(그림 1 참조)에서 연구자들은 AI 시스템이 팬더로 정확하게 식별한 사진과 컴퓨터가 "선충"이라고 표시한 임의의 왜곡된 사진을 결합했습니다. 결합된 이미지의 차이는 사람의 눈으로는 감지할 수 없지만, AI 시스템은 99.3%의 신뢰도로 해당 이미지를 긴팔원숭이로 분류했습니다. 이러한 취약점은 공격자가 의도적으로 악용하여 AI에 의존하거나 보조하는 표적 식별, 선택, 교전을 방해할 수 있습니다. 이로 인해 시스템이 인간 운영자가 승인하지 않은 표적 또는 표적군을 선택하고 교전하게 되면 윤리적 문제가 제기되거나 잠재적으로 무력 충돌 법 위반으로 이어질 수 있습니다.

그림 1. 이미지 인식에서의 AI 실패



출처: 앤드류 일라친스키, *AI, 로봇 및 군집, 정점 질문 및 권장 연구*, 해군 분석 센터, 2017년 1월, 61페이지.

마지막으로, 최근 뉴스 보도와 분석에 따르면 "딥 페이크"로 널리 알려진 사진, 오디오, 비디오 디지털 위조를 더욱 사실적으로 구현하는 데 있어 AI의 역할이 강조되고 있습니다. 공격자들은 "회색 지대" 분쟁에서 정보 작전의 일부로 이러한 AI 기능을 배포할 수 있습니다.¹⁰ 딥 페이크 기술은 미국과 동맹국을 상대로 허위 뉴스를 생성하고, 대중 담론에 영향을 미치고, 대중의 신뢰를 약화시키고, 정부 관계자를 협박하는 데 사용될 수 있습니다. 이러한 이유로 일부 분석가들은 소셜 미디어 플랫폼이 딥페이크 탐지 도구를 배포하는 것 외에도 콘텐츠에 라벨을 지정하고 인증하는 수단을 확대해야 한다고 주장합니다.¹¹ 이를 위해서는 사용자가 콘텐츠가 생성된 시간과 위치를 식별하거나 편집된 콘텐츠에 적절한 라벨을 지정해야 할 수도 있습니다. 다른 분석가들은 딥페이크 기술을 규제하는 것이 소셜 미디어 플랫폼에 과도한 부담을 주거나 언론의 자유와 예술적 표현에 대한 위헌적 제한을 초래할 수 있다는 우려를 표명했습니다.¹² 이러한 분석가들은 기존 법률로도 다음과 같은 악의적인 사용을 관리하기에 충분하다고 제안했습니다.

¹⁰ "회색 시대" 분쟁은 공식적으로 선포된 전쟁의 임계치 이하에서 발생하는 분쟁을 말합니다. 정보 작전에 대한 자세한 내용은 CRS In Focus IF10771, *국방 입문서: 정보 작전(국방 입문서: 정보 작전, 작성자: 캐서린 A. 테오하리)*을 참조하세요.

¹¹ 트위터와 같은 일부 소셜 미디어 플랫폼에서는 특정 유형의 합성 또는 조작된 미디어에 라벨을 지정하고 삭제하는 규칙을 마련했습니다. 요엘 로스 및 아시타 아추탄, "공공장소에서 규칙 만들기" 참조: 합성 및 조작된 미디어에 대한 *트위터의 접근 방식*, *트위터*, 2020년 2월 4일, https://blog.twitter.com/en_us/topics/company/2020/new-approach-to-synthetic-and-manipulated-media.html에서 참조.

¹² 제시카 아이스, "명예훼손적 정치 딥페이크와 수정헌법 제1조", *Case Western Reserve Law Review*, 2019, <https://scholarlycommons.law.case.edu/caselrev/vol70/iss2/12>.

딥페이크에 대해 대중을 교육하고 악의적인 딥페이크 제작자에 대한 인센티브를 최소화하는 데 초점을 맞춰야 한다고 주장합니다.

United 미국

국방부의 AI에 대한 비공개 투자액은 2016회계연도 6억 달러에서 2023회계연도 약 11억 달러로 증가했으며, 국방부는 685개 이상의 AI 프로젝트를 진행 중입니다.¹³ 2019 회계연도 국방수권법(NDAA, P.L. 115-232)에 따라 국방부는 1,500만 달러 이상의 국방 프로젝트를 조정하기 위해 합동 인공지능 센터(JAIC, 발음은 '제이크'로 표기)를 설립했으며, JAIC는 2021 회계연도 NDAA(P.L. 116-283) 섹션 808에 따라 획득 권한을 부여받았습니다.¹⁴ JAIC는 예측 유지보수,¹⁵ 인도주의적 지원 및 재난 구호, 전투원 건강, 비즈니스 프로세스 혁신 등 AI를 위한 여러 국가 임무 이니셔티브를 수행해 왔습니다. 또한 JAIC는 부서 전반의 AI 역량 테스트 및 현장 적용을 지원하기 위한 '안전한 클라우드 기반 AI 개발 및 실험 환경'인 합동 공통 재단(Joint Common Foundation)을 유지하고 있습니다.¹⁶ 2021년 12월, 캐슬린 힉스 국방부 차관은 "국방부 차관에게 직접 보고하는 JAIC의 후속 조직"이 될 최고 디지털 및 인공 지능 사무소의 설립을 지시했습니다.¹⁷

또한 2019 회계연도 국방수권법안은 국방부에 인공지능 개발 및 실전 배치에 대한 전략적 로드맵을 발표하고 "작전 상황에서 인공지능 지원 시스템 및 기술의 개발과 사용을 관리하는 국방부의 적절한 윤리적, 법적 및 기타 정책"에 대한 지침을 개발하도록 지시했습니다.¹⁸ 이 의무를 뒷받침하기 위해 국방부 장관의 독립적인 연방 자문 위원회인 국방혁신위원회(DIB)는 인공 지능의 윤리적 사용을 위한 권고안 초안을 작성했습니다.¹⁹ 국방부는 이러한 권고안을 바탕으로 책임성, 공정성, 추적성, 신뢰성, 거버넌스 등 DIB의 권고에 따라 AI에 대한 5가지 윤리적 원칙을 채택했습니다.²⁰ 2021년 5월 26일, 부차관보

¹³ 2023 회계연도 투자로 표시된 금액은 국방부의 2023 회계연도 AI 관련 미분류 예산 요청을 반영한 것입니다. 2023 회계연도에 국방부가 실제로 AI에 투자할 금액은 이보다 더 많을 수 있으며, 과거 선례에 비추어 볼 때 이보다 적을 가능성은 낮습니다. 국방부 차관(감사관)최고재무책임자실, *국방 예산 개요: 미국 국방부 2023 회계연도 예산 요청*, 2022년 4월, 4-7페이지, https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/FY2023/FY2023_예산_요청_개요_책.pdf; 및 정부 회계 책임실, *인공 지능: 인공 지능: 무기 시스템 개발 및 획득 능력 현황*, 2월 2022, <https://www.gao.gov/assets/gao-22-104765.pdf>.

¹⁴ P.L. 115-232, 섹션 2, 디비전 A, 타이틀 II, §1051; 및 P.L. 116-283, 섹션 2, 디비전 A, 타이틀 VIII, §808.

¹⁵ 예측 유지보수는 AI를 사용하여 "중요 부품의 고장을 예측하고, 진단을 자동화하며, 데이터 및 장비 상태를 기반으로 유지보수 계획을 수립"합니다. 국방부, "2018년 국방부 인공 지능 전략 요약", 2019년 2월 12일, 11페이지, <https://media.defense.gov/2019/Feb/12/2002088963/-1/-1/1/SUMMARY-OF-DOD-AI-STRATEGY.PDF>에서 확인할 수 있습니다.

¹⁶ 공동 인공지능 센터, "공동 공통 재단", <https://www.ai.mil/jcf.html>.

¹⁷ 국방부, "최고 디지털 및 인공지능 책임자 설립," 2021년 12월 8일, <https://media.defense.gov/2021/Dec/08/2002906075/-1/-1/1/MEMORANDUM-ON-ESTABLISHMENT-OF-THE-CHIEF-DIGITAL-AND-ARTIFICIAL-INTELLIGENCE-OFFICER.PDF>.

¹⁸ P.L. 115-232, 섹션 2, 디비전 A, 타이틀 II, §238.

¹⁹ 윤리적 인공지능에 대한 원칙을 개발하는 국방부의 근거와 인공지능과 관련된 국방부의 기존 윤리적 약속에 대한 논의는 국방혁신위원회, "인공지능 원칙"을 참조하세요: 국방부의 인공지능 윤리적 사용에 관한 권고사항", 2019년 10월 31일, https://media.defense.gov/2019/Oct/31/2002204458/-1/-1/0/DIB_AI_PRINCIPLES_PRIMARY_DOCUMENT.PDF에서 확인할 수 있습니다.

²⁰ 이러한 원칙에 대한 정의는 국방부, "국방부, 인공지능을 위한 윤리적 원칙 채택", 2020년 2월 24일, <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2091996/dod-adopts-ethical-principles-for-artificial-intelligence/>에서 확인할 수 있습니다.

캐슬린 히스 국방부 장관은 윤리적 원칙에 따라 책임 있는 인공지능(RAI) 구현에 대한 지침을 제공하는 각서를 발표했습니다.²¹ 그 후 국방부는 2022년 6월에 RAI 전략과 구현 경로를 발표했습니다.²²

마지막으로, 2019 회계연도 NDAA의 섹션 1051은 군사적으로 관련된 AI 기술에 대한 종합적인 평가를 수행하고 미국의 경쟁력 강화를 위한 권장 사항을 제공하기 위해 인공지능에 관한 국가 안보 위원회(NSCAI)를 설립했습니다. 위원회의 최종 보고서는 2021년 3월에 의회에 제출되었으며, 일반적으로 (1) 연구 개발에 대한 투자, (2) 국가 안보 임무에 AI 적용, (3) AI 인재 교육 및 채용, (4) 미국의 기술 우위 보호 및 구축, (5) 글로벌 AI 협력 강화의 다섯 가지 주요 노력에 따른 권장 사항을 제시하고 있습니다.²³ NSCAI의 권고안 중 다수가 법으로 통과되었습니다.²⁴ 또한, 2022 회계연도 국방수권법(NDAA) 247조(P.L. 117-81)는 국방부 장관에게 국방부의 NSCAI 권고안 이행 의도와 관련 이행 일정에 대한 연례 현황 보고서를 의회 국방위원회에 제출하도록 지시하고 있습니다.²⁵

중국

중국은 국제 AI 시장에서 미국의 가장 가까운 경쟁자로 널리 알려져 있습니다.²⁶ 중국의 2017년 "차세대 AI 개발 계획"은 AI를 "국제 경쟁의 초점"이 된 "전략적 기술"로 설명합니다.²⁷ 최근 중국이 이 분야에서 거둔 성과는 중국이 AI 개발 목표를 실현할 수 있는 잠재력을 보여줍니다. 특히 중국은 언어 및 얼굴 인식 기술을 추구하고 왔으며, 이러한 기술 중 상당수를 국내 감시 네트워크에 통합할 계획입니다. 이러한 기술은 스파이 활동에 대응하고 군사적 표적을 찾는 데 사용될 수 있습니다. 중국은 다양한 유형의 공중, 육상, 해상 및

²¹ RAI 거버넌스, 전투원 신뢰, AI 제품 및 획득 수명주기, 요구사항 검증, 책임감 있는 AI 생태계, AI 인력에 초점을 맞출 것입니다. RAI에 대한 자세한 내용은 캐슬린 H. 히스, "국방부에서 책임 있는 인공지능 구현", 2021년 5월 26일, <https://media.defense.gov/2021/May/27/2002730593/-1/-1/0/IMPLEMENTING-RESPONSIBLE-ARTIFICIAL-INTELLIGENCE-IN-THE-DEPARTMENT-OF-DEFENSE.PDF>에서 확인할 수 있습니다.

²² 미국 국방부, 미국 국방부 책임 있는 인공지능 전략 및 구현 경로, 2022년 6월, [https://media.defense.gov/2022/Jun/22/2003022604/-1/-1/0/Department-of-Defense- 책임 있는 인공지능 전략 및 구현 경로.pdf](https://media.defense.gov/2022/Jun/22/2003022604/-1/-1/0/Department-of-Defense-%20책임%20있는%20인공지능%20전략%20및%20구현%20경로.pdf)에서 확인할 수 있습니다. 국방혁신부(DIU)는 *책임 있는 인공지능 실무 지침*을 추가로 발표했습니다. DIU의 상용 시제품 제작 및 획득 프로그램 내에서 인공지능에 대한 국방부의 윤리 원칙을 운영하기 위해 DIU *포트폴리오에서 배운 교훈을 발표했습니다*. Jared Dunnmon 외, *책임감 있는 AI 가이드라인 실무: DIU 포트폴리오에서 배운 교훈*, 2021년 11월 14일, https://assets.ctfassets.net/3nanhbfr0pc/acoo1Fj5uungnGNPJ3QWy/3a1dafd64f22efcf8f27380aafae9789/2021_RAI_Report-v3.pdf에서 확인할 수 있습니다.

²³ 인공지능에 관한 국가안보위원회, *최종 보고서*, 2021년 3월, [https://www.nscai.gov/wp-](https://www.nscai.gov/wp-content/uploads/2021/03/Full-Report-Digital-1.pdf)

[content/uploads/2021/03/Full-Report-Digital-1.pdf](https://www.nscai.gov/wp-content/uploads/2021/03/Full-Report-Digital-1.pdf)에서 확인할 수 있습니다. 2019 회계연도 국방수권법 238조에 따라 연방 지원 연구 개발 센터인 RAND Corporation은 추가로 국방부의 AI 태세에 대한 검토를 수행했습니다. 다니엘 C. 타라프 외, *인공 지능에 대한 국방부 태세 참조: 평가 및 권장 사항*, RAND Corporation, 2019, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR4229.html.

²⁴ 예를 들어, 216항("신흥 기술 및 국가 안보 위협에 관한 운영위원회 관련 개선 사항"), 228항("민간 및 군 고위 지도자를 위한 신흥 기술에 관한 임원 교육"), 903항("합동 요구사항 감독위원회에서 국방부 연구 및 엔지니어링 차관의 역할 강화"), 909항("디지털 인재 채용 담당관") 및 1118항("디지털 경력 분야 직업군")을 참조하세요.

²⁵ 이 요건은 2023년 12월 27일에 만료됩니다.

²⁶ 예를 들어, 이카이푸 리, *AI 초강대국: 중국, 실리콘밸리, 그리고 새로운 세계 질서*(미국 매사추세츠주 보스턴: 휴튼 미플린사, 2018).

²⁷ 중국 국무원, "차세대 인공 지능 개발 계획," 2페이지.

해저 자율 군용 차량 등 중국은 적의 미사일 방어 요격기를 압도하는 데 사용할 수 있는 스웬 기술을 적극적으로 추구하고 있습니다. 또한 오픈소스에 따르면 중국은 사이버 작전을 위한 일련의 AI 도구를 개발하고 있습니다.²⁸

중국의 AI 생태계 관리는 미국과 극명한 대조를 이룹니다.²⁹ 일반적으로 중국의 민간 기업, 대학 연구실, 군대, 중앙 정부 사이에는 경계가 거의 존재하지 않습니다. 예를 들어, 중국의 국가정보법은 기업과 개인에게 "국가 정보 업무를 지원, 보조 및 협력"하도록 규정하고 있습니다.³⁰ 그 결과 중국 정부는 군의 AI 개발 우선순위를 정하고 민간 목적으로 개발된 기술에 접근할 수 있는 직접적인 수단을 확보하고 있습니다.

러시아

블라디미르 푸틴 러시아 대통령은 "[AI] 분야의 리더가 되는 사람이 세계의 지배자가 될 것"이라고 말했습니다.³¹ 그러나 현재 러시아의 AI 개발은 미국과 중국에 비해 크게 뒤쳐져 있습니다. 이러한 격차를 줄이기 위한 노력의 일환으로 러시아는 AI 전문 지식, 교육 프로그램, 데이터 세트, 인프라 및 법적 규제 시스템을 개선하기 위한 5년 및 10년의 벤치마크를 설명하는 국가 전략을 발표했습니다.³² 러시아는 2025년까지 러시아 군사 장비의 30%를 로봇화한다는 2008년 국방 현대화 의제를 계속 추진할 것이라고 밝혔습니다.³³

러시아 군은 반자율 및 자율 군용 차량에 중점을 두고 다양한 AI 애플리케이션을 연구해 왔습니다. 러시아는 또한 자율적으로 표적을 식별하고 잠재적으로 표적과 교전할 수 있는 무인 지상 차량용 전투 모듈을 구축했으며, AI 지원 자율 시스템 제품군을 개발할 계획인 것으로 알려졌습니다.³⁴ 또한 러시아 군은 무인 항공, 해군 및 해저 차량에 AI를 통합할 계획이며 군집 기능을 개발 중인 것으로 알려졌습니다.³⁵ 이러한 기술은 비용과 인력 요구 사항을 모두 줄여 잠재적으로 러시아가 더 적은 인력으로 더 많은 시스템을 운용할 수 있게 해줄 수 있습니다. 또한 러시아는 원격 감지 및 전자전에 AI를 혁신적으로 활용하는 방안을 모색하고 있으며, 이를 통해 전장에서 적의 효과적인 통신 및 탐색 능력을 감소시킬 수 있습니다.³⁶ 마지막으로, 러시아는 AI를 광범위하게 활용하고 있습니다.

²⁸ 엘사 카니아, *전장의 특이점: 인공 지능, 군사 혁명, 그리고 중국의 미래 군사력*, 새로운 미국 안보 센터, 2017년 11월 28일, 27쪽.

²⁹ 위의 책, 6쪽.

³⁰ 아르준 카르팔, "화웨이는 중국 정부에 데이터를 절대 넘기지 않을 것이라고 말했습니다. 전문가들은 선택의 여지가 없을 것이라고 말한다." *CNBC*, March 5, 2019.

³¹ "AI를 선도하는 자가 세계를 지배할 것이다: 푸틴이 지식의 날에 러시아 어린이들에게", *RT.com*, 2017년 9월 1일, <https://www.rt.com/news/401731-ai-rule-world-putin/>.

³² 러시아 대통령실, "러시아 연방의 인공 지능 개발에 관한 러시아 연방 대통령령"(보안 및 신형 기술 센터, 번역), 2019년 10월 10일, <https://cset.georgetown.edu/research/decreed-of-the-president-of-the-russian-federation-on-the-development-of-artificial-intelligence-in-the-russian-federation/>에서 확인할 수 있습니다.

³³ Tom Simonite, "초강대국에게 인공지능은 새로운 글로벌 군비 경쟁을 촉진한다", *Wired*, 2017년 8월 8일.

³⁴ 트리스탄 그린, "러시아, 새로운 군비 경쟁에서 우위를 점하기 위해 인공지능 미사일 개발 중", *The Next Web*, 2017년 7월 27일, <https://thenextweb.com/artificial-intelligence/2017/07/27/russia-is-developing-ai-missiles-to-dominate-the-new-arms-race/>; 및 카일 미조카미, "칼라시니코프, 인공지능 기반 킬러 로봇을 만든다", *Popular Mechanics*, 2017년 7월 19일, <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/news/a27393/kalashnikov-to-make-ai-directed-machine-guns/>.

³⁵ 사무엘 벤데트, "붉은 로봇의 부상: 러시아 무인 군사 시스템의 급속한 발전의 배후", *The Strategy Bridge*, 2017년 12월 12일.

³⁶ Jill Dougherty와 Molly Jay, "러시아, 인공 지능에 대해 똑똑해지려 한다", *월슨 분기별*,

국내 선전 및 감시는 물론 미국 및 미국 동맹국을 대상으로 한 정보 작전을 위한 기술입니다.³⁷

러시아의 열망에도 불구하고 분석가들은 러시아가 AI 개발에서 큰 진전을 이루기 어려울 수 있다고 주장합니다. 예를 들어, 일부 분석가들은 러시아 학계에서 AI 관련 연구 논문이 전 세계적으로 22위(22nd)에 불과하며(³⁸), 러시아 기술 업계가 아직 미국과 중국에 필적하는 AI 애플리케이션을 생산하지 못하고 있다고 지적합니다.³⁹ 다른 분석가들은 러시아가 인터넷 기술의 선두주자는 아니었지만 사이버 공간에서 주목할 만한 파괴적인 세력이 되었다고 주장하며 이러한 요인들과는 무관할 수 있다고 반박합니다.⁴⁰ 또한 러시아는 중국과의 기술 협력 강화를 활용할 수도 있습니다.⁴¹

국제 기관

주요 7개국(G7), 아시아태평양경제협력체(APEC), 경제협력개발기구(OECD)를 비롯한 여러 국제 기관에서 AI를 둘러싼 이슈를 검토해 왔으며, 경제협력개발기구는 최초의 정부 간 AI 원칙을 개발했습니다.⁴² 이 원칙은 "혁신적이고 신뢰할 수 있으며 인권과 민주적 가치를 존중하는 AI를 촉진"하기 위한 것입니다.⁴³ 미국은 OECD 36개 회원국, 아르헨티나, 브라질, 콜롬비아, 코스타리카, 페루, 루마니아를 포함한 42개 국가 중 하나로, OECD AI 원칙을 채택했습니다. 이 원칙은 2019년 6월 주요 20개국(G20)이 발표한 인간 중심 AI에 관한 장관급 성명서의 토대가 되었습니다.⁴⁴ 또한, OECD는 2019년에 AI 정책 관측소를 설립하여 "각국이 사회를 위해 신뢰할 수 있는 AI 시스템의 책임 있는 개발을 장려, 육성, 모니터링하는 데 도움이 되는" 정책 옵션을 개발했습니다.

2018년 봄, 마가리타 코나에브와 사무엘 벤데트, "러시아 인공지능 전투: 가까운 도시에 등장할 것인가?", *War on the Rocks*, 2019년 7월 31일, <https://warontherocks.com/2019/07/russian-ai-enabled-combat-coming-to-a-city-near-you/>.

³⁷ 알리나 플라코바, "약자의 무기: 러시아와 인공지능이 주도하는 비대칭 전쟁," Brookings Institution, 2018년 11월 15일, <https://www.brookings.edu/research/weapons-of-the-weak-russia-and-ai-driven-asymmetric-warfare/>; 크리스 메세롤과 알리나 플라코바, "허위 정보 전쟁," *Foreign Policy*, 2018년 5월 25일, <https://foreignpolicy.com/2018/05/25/disinformation-wars/>.

³⁸ 마르가리타 코나에브 외, *헤드라인인가 추세선인가? 중국과 러시아의 AI 협력 평가*, 보안 및 신흥 기술 센터, 2021년 8월, 9페이지.

³⁹ Leon Bershidsky, "Take Elon Musk Seriously on the Russian AI Threat," *Bloomberg*, September 5, 2017, <https://www.bloomberg.com/view/articles/2017-09-05/take-elon-musk-seriously-on-the-russian-ai-threat>; 및 Alina Polyakova, "Weapons of the Weak: 러시아와 인공지능이 주도하는 비대칭 전쟁," Brookings Institution, 2018년 11월 15일, <https://www.brookings.edu/research/weapons-of-the-weak-russia-and-ai-driven-asymmetric-warfare/>.

⁴⁰ 그레고리 C. 앨런, "푸틴과 머스크가 옳다: AI를 마스터하는 자가 세계를 지배할 것이다," *CNN*, 2017년 9월 5일.

⁴¹ 사무엘 벤데트와 엘사 카니아, *새로운 중-러 하이테크 파트너십*, 호주 전략 정책 연구소, 2019년 10월 29일, <https://www.aspi.org.au/report/new-sino-russian-high-tech-partnership>. 그러나 일부 분석가들은 "중국과 러시아 소식

통은 물론 미국 관찰자들도 AI 분야에서 중국과 러시아의 협력 범위와 규모가 과장되었을 수 있다"고 경고했습니다. 마가리타 코나예브 외, *헤드라인인가 추세선인가? AI 분야에서 중국과 러시아의 협력 평가*, 보안 및 신형 기술 센터, 2021년 8월, 9 페이지.

⁴² 2020년 5월, 미국은 "'인권, 포용, 다양성, 혁신, 경제 성장'이라는 공동의 원칙을 바탕으로 책임감 있는 AI 채택을 유도하기 위한" G7의 AI 글로벌 파트너십에 가입했습니다. 매트 오브라이언, "미국, 중국에 대응하기 위해 G7 인공 지능 그룹에 합류", Associated Press, 2020년 5월 28일.

⁴³ 경제협력개발기구, "OECD AI 원칙", 2019년 6월, <https://www.oecd.org/going-digital/ai/principles/>.

⁴⁴ "G20 무역 및 디지털 경제에 관한 장관 성명", 2019년 6월 9일, <https://www.mofa.go.jp/files/000486596.pdf>.

마찬가지로 2021년 10월, 북대서양조약기구(NATO)는 첫 번째 AI 전략을 발표했습니다.⁴⁵ 엔스 스톨텐베르그(Jens Stoltenberg) NATO 사무총장에 따르면, 이 전략은 "국제법에 따라 책임감 있는 인공지능 사용에 대한 표준을 설정하고, [NATO가] 하는 일에서 인공지능 채택을 가속화하고, 이 기술을 보호하고, 적의 인공지능 사용으로 인한 위협에 대처하는 방법을 제시하는 것"이라고 합니다.⁴⁶ NATO는 "인공지능 전략의 '운영화'를 보장하기 위해" 인공지능 테스트 센터와 데이터 및 인공지능 검토 위원회를 추가로 설립할 예정입니다.⁴⁷

마지막으로 2021년 9월, 미국은 호주 및 영국과 3국 안보 파트너십을 맺었다고 발표했습니다.⁴⁸ AUKUS로 알려진 이 파트너십에는 인공지능과 자율성, 극초음속 무기, 양자 기술 및 기타 첨단 역량에 대한 국방 협력이 포함됩니다.⁴⁹

의회에 대한 잠재적 질문

- 국방부는 인공지능에 대한 윤리 원칙을 이행하기 위해 어떤 조치를 취하고 있습니까? 이러한 조치가 국방부의 원칙 준수를 보장하기에 충분합니까?
- 국방부는 AI 시스템이 공격자에게 악용되지 않도록 어떻게 테스트하고 평가하고 있나요?
- 국방부와 정보 커뮤니티는 외국의 군사 AI 애플리케이션 현황과 이러한 애플리케이션이 미국의 국가 안보에 해를 끼치는 데 사용될 수 있는 방식에 대한 적절한 정보를 보유하고 있습니까?
- 최고 디지털 및 인공지능 사무소의 설립이 국방부의 AI 애플리케이션 채택 능력에 어떤 영향을 미쳤나요?
- 딥페이크와 관련된 국가 안보 고려 사항은 언론의 자유 보호, 예술적 표현, 기반 기술의 유익한 사용과 어떻게 균형을 이루어야 하나요? 미국 정부는 대중에게 딥 페이크에 대한 교육을 제공하기 위해 어떤 노력을 기울여야 하나요?

치명적인 자율 무기 시스템(LAWS)⁵⁰

치명적인 자율 무기 시스템에 대한 국제적으로 합의된 정의는 없지만, 국방부 지침(DODD) 3000.09에서는 LAWS를 독립적으로 표적을 식별하고 탑재 무기를 사용하여 교전할 수 있는 무기 시스템의 한 종류로 정의합니다.

⁴⁵ 북대서양조약기구, "NATO 인공지능 전략 요약", 2021년 10월 22일, https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_187617.htm?mc_cid=8f2b5c99db&mc_eid=5a3e8d2b43.

⁴⁶ 비비안 마치, "NATO, 파괴적 기술인 인공지능에 도전장을 내밀다", *C4ISRNET*, 2021년 11월 3일, <https://www.c4isrnet.com/digital-show-dailies/feindef/2021/11/03/nato-ups-the-ante-on-disruptive-tech-artificial-intelligence/>에서 확인.

⁴⁷ Ibid.

⁴⁸ 백악관, "AUKUS에 관한 공동 지도자 성명," 2021년 9월 15일, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/15/joint-leaders-statement-on-aukus/>에서 확인할 수 있습니다.

⁴⁹ 백악관, "팩트 시트: 호주-영국-미국 파트너십(AUKUS) 이행," 2022년 4월 5일, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/04/05/fact-sheet-implementation-of-the-australia-united-kingdom-ited-states-partnership-aukus/>에서 확인할 수 있습니다.

⁵⁰ LAWS에 대한 자세한 내용은 CRS 보고서 R44466, *치명적인 자율 무기 시스템을 참조하세요: 의회를 위한 쟁점, 작성자*: 네이션 J. 루카스.

사람의 수동 제어 없이 목표물을 파괴할 수 있습니다. 이러한 자율성 개념은 "루프에서 벗어난 인간" 또는 "완전한 자율성"이라고도 합니다. 이 지침은 운영자가 무기의 표적 교전을 모니터링하고 중단할 수 있는 능력이 있는 사람이 감독하는 자율 무기 시스템, 즉 "휴먼 온 더 루프"와 대조됩니다. 또 다른 범주는 "인간 운영자가 선택한 개별 표적 또는 특정 표적 그룹에만 교전"하는 반자율 또는 "인간 인더 루프" 무기 시스템입니다.⁵¹

LAWS는 물체를 적으로 분류하고, 교전 결정을 내리고, 무기를 목표물로 유도하기 위해 컴퓨터 알고리즘과 센서 세트가 필요합니다. 이러한 시스템은 아직 광범위하게 개발되지는 않았지만⁵² 기존 시스템이 작동하지 않을 수 있는 통신이 저하되거나 거부된 환경에서 군사 작전을 수행할 수 있을 것으로 여겨집니다. 일부 분석가들은 LAWS가 "무기가 부수적인 피해나 민간인 사상자의 위험을 줄이면서 군사 목표를 더 정확하게 타격할 수 있게 해줄 수 있다"고 언급했습니다.⁵³

약 30개 국가와 165개 비정부기구를 포함한 다른 단체들은 자율무기의 사용에 대한 책임성 부족, 무력 분쟁법의 비례성 및 구별 요건을 준수하지 못하는 것으로 인식되는 등의 윤리적 우려로 인해 자율무기를 선제적으로 금지할 것을 촉구했습니다. 일부 분석가들은 치명적인 자율 무기로 인한 잠재적 운영 위험에 대한 우려도 제기했습니다.⁵⁴ 이러한 위험은 "해킹, 적의 행동 조작, 예기치 않은 환경과의 상호작용, 단순한 오작동 또는 소프트웨어 오류"로 인해 발생할 수 있습니다.⁵⁵ 이러한 위험은 자동화 시스템에서도 존재할 수 있지만, 자율 시스템에서는 인간 운영자가 교전 종료를 위해 물리적으로 개입할 수 없기 때문에 더 광범위하고 더 많은 학살, 민간인 사상자 또는 기타의 도하지 않은 결과를 초래할 수 있습니다.⁵⁶

United 미국

미국은 LAWS를 개발 중이거나 현재 보유 중인 것으로 알려져 있지 않지만, 다음과 같은 개발, 배치 또는 고용을 금지하고 있지는 않습니다.

⁵¹ 국방부 훈령 3000.09, "무기 체계의 자율성", 2017년 5월 8일 업데이트, <https://www.esd.whs>.

⁵² 일부 분석가들은 이스라엘 하피와 같은 특정 로터링 탄약이 미국의 LAWS 정의에 부합한다고 주장합니다. 예를 들어, 국방혁신위원회, *인공지능 원칙을 참조하세요: 국방부의 인공지능의 윤리적 사용에 관한 권고 - 지원 문서*, 2019년 10월, 12페이지, <https://media.defense.gov/2019/Oct/31/2002204459/-1/-1/0/>

DIB_AI_PRINCIPLES_SUPPORTING_DOCUMENT.PDF에서 확인할 수 있습니다. 또한, 유엔 보고서는 터키의 STM 카르구2 배치가 치명적인 자율 무기 시스템을 전투에서 최초로 사용하는 것이라고 결론지었지만, 유엔은 카르구-2가 "표적을 공격하도록 프로그래밍된"[강조 추가] 무기라고 설명했습니다. 이러한 이유로 카르구2는 미국의 LAWS 정의에 부합하지 않을 가능성이 높습니다. 유엔 안전보장이사회, "결의 1973호(2011)에 따라 설립된 리비아 전문가 패널이 안보리 의장에게 보낸 2021년 3월 8일자 서한", 2021년 3월 8일, 17페이지, <https://undocs.org/S/2021/229>.

⁵³ 미국 정부, "치명적인 자율 무기 분야에서 신형 기술의 인도주의적 혜택," 2018년 3월 28일,

[https://ogc.osd.mil/Portals/99/Law%20of%20War/Practice%20Documents/ US%20Working%20Paper%20-%20에서 확인 할 수 있습니다.](https://ogc.osd.mil/Portals/99/Law%20of%20War/Practice%20Documents/US%20Working%20Paper%20-%20에서%20확인%20할%20수%20있습니다.)

[%20Humanitarian%20benefits%20of%20emerging%20technologies%20in%20the%20area%20of%20LAWS%20-%20CCW_GGE.1_2018_WP.4_E.pdf?ver=O0lg6BlxsFt57nrOuz3xHA%3D%3D.](https://ogc.osd.mil/Portals/99/Law%20of%20War/Practice%20Documents/US%20Working%20Paper%20-%20Humanitarian%20benefits%20of%20emerging%20technologies%20in%20the%20area%20of%20LAWS%20-%20CCW_GGE.1_2018_WP.4_E.pdf?ver=O0lg6BlxsFt57nrOuz3xHA%3D%3D)

⁵⁴ 예를 들어, 폴 샬레, "자율 무기와 작전 위험", 새로운 미국 안보 센터, 2016년 2월,

https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS_Autonomous-weapons-operational-risk.pdf 참조.

⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ Ibid.

LAWS. DODD 3000.09는 "전쟁법, 관련 조약, 무기 체계 안전 규칙, 적용 가능한 교전 규칙"을 준수할 수 있도록 LAWS의 향후 개발 및 실전 배치에 대한 국방부 지침을 수립합니다.⁵⁷ 이 지침에는 "지휘관과 운영자가 무력 사용에 대해 적절한 수준의 인간적 판단력을 발휘할 수 있도록" LAWS를 설계해야 한다는 요건이 포함되어 있습니다.⁵⁸ "무력 사용에 대한 인간의 판단"은 흔히 보고되는 것처럼 무기 시스템에 대한 인간의 수동적인 "통제"를 요구하는 것이 아니라 무기를 언제, 어디서, 어떻게, 왜 사용할 것인지에 대한 결정에 광범위한 인간의 개입을 요구하는 것입니다. 또한, 국방부 3000.09는 치명적인 자율 무기를 포함한 모든 시스템의 소프트웨어와 하드웨어를 테스트하고 평가하여 다음과 같은 사항을 확인하도록 요구합니다.

[적응형 적에 대한 현실적인 작전 환경에서 예상대로 작동하고, 지휘관 및 운영자의 의도와 일치하는 시간 내에 교전을 완료하며, 그렇게 할 수 없는 경우 교전을 종료하거나 교전을 계속하기 전에 추가 운영자의 의견을 구하고, 의도하지 않은 교전이나 승인되지 않은 당사자에게 시스템 제어권을 잃을 수 있는 장애를 최소화할 수 있을 정도로 충분히 견고해야 합니다.

예를 들어 기계 학습으로 인해 시스템의 작동 상태가 변경되면 시스템이 안전 기능과 의도한 대로 작동할 수 있는 능력을 유지하는지 확인하기 위해 시스템을 다시 테스트하고 재평가해야 합니다. 표준 무기 검토 절차에 추가하여, LAWS는 개발 및 실전 배치 전에 국방부 정책 차관, 합참의장, 국방부 획득 및 유지 차관 또는 국방부 연구 및 엔지니어링 차관의 2차 고위급 검토를 거쳐야 합니다. 국방부는 고위 지도자들에게 이 검토를 안내하기 위한 핸드북을 개발 중이며, 국방부 훈령 3000.09를 추가로 업데이트하고 있는 것으로 알려졌습니다.⁵⁹

중국

마크 에스퍼 전 미국 국방부 장관에 따르면, 즈옌과 같은 일부 중국 무기 제조업체는 자율적으로 표적을 선택하고 교전할 수 있는 능력을 갖춘 무기를 광고해 왔습니다.⁶⁰ 이러한 주장이 정확한지는 불분명하지만, 중국은 최소 5가지 특성을 나타내는 무기로 특징지어지는 LAWS 개발을 금지하지 않고 있습니다:

첫 번째는 치사율로, 충분한 페이로드(요금)와 수단이 치명적이어야 함을 의미합니다. 두 번째는 자율성으로, 작업을 실행하는 전체 과정에서 사람의 개입과 통제가 없는 것을 의미합니다. 셋째, 종료 불가능성, 즉 일단 시작되면 장치를 종료할 방법이 없다는 것을 의미합니다. 넷째, 무차별 효과: 조건, 시나리오, 표적에 관계없이 살상 및 불구가 되는 작업을 실행한다는 의미입니다. 다섯째, 진화, 즉 다음과 같은 상호작용을 통해

⁵⁷ 국방부 지침 3000.09, "무기 체계의 자율성", 2017년 5월 8일 업데이트, <https://www.esd.whs>. 이 지침에 대한 설명은 CRS In Focus IF11150, *국방 입문서: 치명적인 자율 무기 시스템에 대한 미국 정책*(Kelley M. Saylor 저)을 참조하세요.

⁵⁸ 국방부 훈령 3000.09, "무기 체계의 자율성", 2017년 5월 8일 업데이트, <https://www.esd.whs>.

⁵⁹ 발레리 인신나, 아론 메타, "미 국방부를 위한 업데이트된 자율 무기 규칙: 독점 세부 사항", *Breaking Defense*, May 26, 2022, <https://breakingdefense.com/2022/05/updated-autonomous-weapons-rules-coming-for-the-pentagon-exclusive-details/>.

⁶⁰ 패트릭 터커, "SecDef: 중국은 중동에 킬러 로봇을 수출하고 있다," *Defense One*, 2019년 11월 5일.

디바이스가 자율적으로 학습하고 인간의 기대를 뛰어넘는 방식으로 기능과 성능을 확장할 수 있는 환경을 조성합니다.⁶¹

러시아

러시아는 다음과 같은 LAWS 정의를 제안했습니다. "시스템 배치 여부 및 방법의 결정을 넘어 운영자의 개입 없이 전투 및 지원 임무를 수행하기 위한 병기 이외의 무인 기술 수단"입니다.⁶² 러시아는 LAWS가 "군사 표적에 대한 무기 유도의 정확성을 높이는 동시에 민간인 및 민간인 표적에 대한 의도하지 않은 공격 비율을 낮추는 데 기여할 수 있다"고 언급했습니다.⁶³ 러시아는 공개적으로 LAWS를 개발 중이라고 밝히지는 않았지만, 러시아 무기 제조업체인 칼라시니코프는 자율적으로 표적을 식별하고 잠재적으로 표적 교전이 가능한 무인 지상 차량용 전투 모듈을 개발한 것으로 알려졌습니다.⁶⁴

국제 기관

미국은 2014년부터 유엔 특정 재래식 무기 협약(U.N. CCW)의 후원 하에 LAWS에 대한 국제 논의에 참여해 왔습니다. The 유엔 CCW는 당사국들이 인공위성에 대한 정치적 선언을 발표하는 제안과 인공위성을 규제하거나 금지하는 제안을 고려했습니다. 유엔 CCW에서 미국과 러시아는 LAWS에 대한 선제적 금지에 반대했으며, 중국은 본질적으로 무차별적이어서 전쟁법을 위반하는 무기 체계로 정의하는 LAWS의 개발은 금지하되 사용은 금지하는 것을 지지했습니다.⁶⁵

의회에 대한 잠재적 질문

- 미국의 잠재적 적들은 어느 정도까지 LAWS를 개발하고 있나요? 이것이 미국의 LAWS 연구 및 개발에 어떤 영향을 미칠까요?
- 미국은 LAWS에 대한 유엔 CCW 논의에서 어떤 역할을 해야 하나요? 미국은 현 상태를 지지하거나, 정치적 선언을 제안하거나, LAWS에 대한 규제 또는 금지를 옹호해야 할까요?
- 미국이 LAW를 개발하기로 결정할 경우, 현재 무기 검토 절차와 분쟁 지역에서 사용하기 위한 법적 기준이 충분한가요?

극초음속 무기⁶⁶

미국, 러시아, 중국을 비롯한 여러 국가에서 음속의 5배에 달하는 마하 5 이상의 속도로 비행하는 극초음속 무기를 개발하고 있습니다. 이와 대조적으로

⁶¹ U.N. CCW, "China: 입장문," 2018년 4월 11일, 1페이지, <https://unog.ch/80256EDD006B8954/>

([http://Assets/E42AE83BDB3525D0C125826C0040B262/\\$file/CCW_GGE.1_2018_WP.7.pdf](http://Assets/E42AE83BDB3525D0C125826C0040B262/$file/CCW_GGE.1_2018_WP.7.pdf))에서 확인할 수 있습니다.

⁶² U.N. CCW, "러시아 연방: 러시아: 치명적인 자율 무기 시스템의 군사적 사용의 잠재적 기회와 한계," 2019,

<https://unog.ch/80256EDD006B8954/>

([http://Assets/B7C992A51A9FC8BFC12583BB00637BB9/\\$file/CCW.GGE.1.2019.WP.1_R+E.pdf](http://Assets/B7C992A51A9FC8BFC12583BB00637BB9/$file/CCW.GGE.1.2019.WP.1_R+E.pdf))에서 확인할 수 있습니다.

다.

⁶³ Ibid.

⁶⁴ Kyle Mizokami, "Kalashnikov, 인공지능으로 구동되는 킬러 로봇을 만든다", *Popular Mechanics*, 2017년 7월 19일.

⁶⁵ LAWS에 대한 유엔 CCW 논의에 대한 자세한 내용은 CRS In Focus IF11294, *치명적인 자율 무기 시스템에 관한 국제적 논의*, 켈리 M. 세일러의 글을 참조하세요.

⁶⁶ 극초음속 무기에 대한 자세한 내용은 CRS 보고서 R45811, *극초음속 무기에서 확인할 수 있습니다: 배경*

극초음속으로 이동하는 탄도 미사일과 달리 극초음속 무기는 포물선 탄도 궤적을 따르지 않고 목적지까지 이동하는 도중에 기동할 수 있어 방어가 어렵습니다.

극초음속 무기에는 두 가지 범주가 있습니다:

- 극초음속 **활공체**는 로켓에서 발사된 후 목표물까지 활공합니다.⁶⁷
- **극초음속 순항** 미사일은 비행하는 동안 고속 엔진으로 구동됩니다.

분석가들은 극초음속 무기의 전략적 의미에 대해 의견이 분분합니다. 일부 분석가들은 (1) 무기의 짧은 비행 시간으로 인해 대응 시간이 단축되고, (2) 예측할 수 없는 비행 경로로 인해 무기의 의도된 표적에 대한 불확실성이 발생하여 분쟁 발생 시 오산 또는 의도하지 않은 확전의 위험이 높아질 수 있다는 점 등 전략적 안정성에 중대한 영향을 미칠 수 있는 두 가지 요인을 확인했습니다.⁶⁸

다른 분석가들은 중국과 러시아와 같은 미국의 경쟁자들이 이미 대륙간 탄도 미사일로 미국을 공격할 수 있는 능력을 보유하고 있기 때문에 극초음속 무기의 전략적 영향은 미미하다고 주장했습니다.

미국의 미사일 방어.⁶⁹ 또한 이 분석가들은 극초음속 무기의 경우 전통적인 억지 원칙이 유효하다고 주장합니다: "미국에 대해 극초음속 무기를 사용하겠다고 위협하는 것은 말할 것도 없고 실제로 사용한다고 생각조차 할 정도로 자살적인 정권을 상상하는 것은 정말 무리입니다..."⁷⁰

United 미국

미 국방부는 2023 회계연도에 극초음속 무기에 47억 달러, 극초음속 방어 프로그램에 2억 2,550만 달러를 요청했습니다.⁷¹ 국방부는 현재 미군이 재래식 탄두로 단단하거나 시간에 민감한 표적을 타격할 수 있는 능력을 제공하기 위한 해군의 재래식 신속 타격 프로그램과 여러 공군, 육군 및 DARPA 프로그램을 통해 극초음속 무기를 개발 중입니다.⁷² 이를 지원하는 분석가

및 의회를 위한 쟁점, 켈리 M. 세일러 작성; CRS 인포커스 IF11459, *국방 입문서: 극초음속 부스트-활공 무기*, 켈리 M. 세일러와 에이미 F. 울프 작성.

⁶⁷ 극초음속 활공체가 로켓 부스터와 결합하면 그 결과물인 무기 시스템을 흔히 극초음속 부스트-활공 무기라고 합니다.

⁶⁸ 예를 들어, 리처드 H. 스피어 외, *극초음속 미사일 확산* 참조: *새로운 종류의 무기 확산 저해*, RAND Corporation, 2017, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2137.html.

⁶⁹ 데이비드 액스, "미국이 극초음속 무기 경쟁에서 조용히 승리하는 방법", *데일리 비스트*, 2019년 1월 16일, <https://www.thedailybeast.com/how-the-us-is-quietly-winning-the-hypersonic-arms-race>. 마크 슈나이더, "모스크바의 극초음속 미사일 개발", 14쪽 참조.

⁷⁰ Jyri Raitasalo, "극초음속 무기는 게임 체인저가 아니다", The National Interest, 2019년 1월 5일, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/hypersonic-weapons-are-no-game-changer-40632>.

⁷¹ 국방부 차관(감사관)/최고재무책임자실, *국방 예산 개요: 미국 국방부 2023 회계연도 예산요청*, 2022년 4월, 4-6페이지, https://comptroller.defense.gov/포털/45/Documents/defbudget/FY2023/FY2023_예산_요청_개요_책.pdf에서 확인할 수 있습니다. 극초음속 미사일 방어에 대한 자세한 내용은 CRS Focus IF11623, *극초음속 미사일 방어: 의회의 쟁점*, 켈리 M. 세일러(Kelley M. Saylor)를 참조하세요.

⁷² 2018년 6월 각서에서 국방부는 해군이 여러 서비스에서 사용할 공통 활공체 개발을 주도할 것이라고 발표했습니다. 각 군은 공동 극초음속 활공체 이사회에서 의장직을 교대로 맡으며 노력을 조율하고 있다. 시드니 J. 프리드버그 주니어, "육군, 레이저 방패, 극초음속 검에 대한 자금 지원 확대", Breaking Defense, 2020년 2월 28일, <https://breakingdefense.com/2020/02/army-ramps-up-funding-for-laser->

개발 노력은 극초음속 무기가 억지력을 강화할 수 있을 뿐만 아니라 미군이 미국 경쟁국의 접근/지역 거부 전략의 기반이 되는 이동식 미사일 발사대, 첨단 대공 및 미사일 방어 시스템과 같은 능력을 무력화할 수 있는 능력을 제공할 수 있다고 주장합니다.⁷³ 다른 사람들은 극초음속 무기가 추가적인 전쟁 우위를 거의 또는 전혀 제공하지 않으며 미군이 아직 극초음속 무기에 대한 임무 요구 사항이나 작전 개념을 식별하지 못했다고 주장합니다.⁷⁴

미국은 2023년 이전에 극초음속 무기를 실전 배치할 가능성은 낮지만, 러시아나 중국과 달리 핵탄두 탑재용 극초음속 무기는 개발하지 않고 있습니다. 따라서 미국은 핵탄두를 탑재하고 정확도가 낮은 러시아 및 중국 시스템보다 기술적으로 더 까다로운 극초음속 무기를 개발하여 목표물을 더 정확하게 공격할 수 있는 극초음속 무기를 개발하고자 합니다.

중국

카네기-칭화 글로벌 정책 센터의 연구원 통 자오는 "대부분의 전문가들은 [중국에서] 극초음속 기술 개발에 우선순위를 두는 가장 중요한 이유는 미국의 지역 미사일 방어와 같이 점점 더 정교해지는 미국 군사 기술의 특정 안보 위협에 대응해야 할 필요성 때문이라고 주장한다"고 말합니다.⁷⁵ 중국이 러시아와 마찬가지로 극초음속 무기를 추구하는 것은 미국의 극초음속 무기가 중국의 핵무기와 지원 인프라에 대한 선제타격을 가능하게 할 수 있다는 우려를 반영합니다. 미국의 미사일 방어 배치는 중국의 대미 보복 공격 능력을 제한할 수 있습니다.⁷⁶

미중 경제안보검토위원회의 2014년 보고서에 따르면 중국은 DF-41 대륙간탄도미사일(ICBM)을 개발했으며, 이 미사일은 핵 초음속 활공체를 탑재할 수 있다고 합니다.⁷⁷ 당시 미 북부사령부 사령관이었던 테런스 오쇼너시 장군은 2020년 2월 "중국이 [핵을 탑재할 수 있는] 대륙간 사거리 극초음속 활공체를 시험하고 있으며... 고속과 저고도로 비행하도록 설계되어 정확한 경고를 제공하는 우리의 능력을 복잡하게 만든다"고 증언하면서 이러한 평가를 확인하는 듯 보였습니다.⁷⁸

실드-초음속-검/. 미국 극초음속 무기 프로그램의 전체 역사는 CRS 보고서 R41464를 참조하세요.

재래식 신속 글로벌 타격과 장거리 탄도 미사일: 배경과 쟁점, 에이미 F. 울프.

⁷³ 로저 자카임과 톰 카라코, "중국의 극초음속 미사일 발전과 미국의 국방 대응", 허드슨 연구소 발표, 2019년 3월 19일. 국방부 2020 회계연도 예산 추정, 육군 연구, 개발, 시험 및 평가 정당화 책자, 제2권, 예산 활동 4, 580페이지 참조.

⁷⁴ 예를 들어 발레리 인신나, "공군 최고 민간인이 극초음속 무기 프로그램 변경에 대한 힌트", *Defense News*, 2021년 9월 22일, <https://www.defensenews.com/air/2021/09/22/air-forces-top-civilian-hints-at-changes-to-hypersonic-arms-programs/> 참조.

⁷⁵ 통 자오, "전략적 안정성에 대한 기존의 도전: 중국의 극초음속 기술 인식과 안보 딜레마," 카네기-칭화 글로벌 정책

센터, 2018년 7월 23일, <https://carnegietsinghua.org/2018/07/23/conventional-challenges-to-strategic-stability-chinese-perceptions-of-hypersonic-technology-and-security-dilemma-pub-76894>에서 확인할 수 있습니다.

⁷⁶ Ibid.; 로라 살만, "중국의 극초음속 활공 계산법", 2017년 8월 15일, 스톡홀름 국제 평화 연구소, <https://www.sipri.org/commentary/topical-background/2017/chinas-calculus-hypersonic-glide>.

⁷⁷ *미중 경제안보검토위원회 2014년 연례 보고서*, 292페이지, https://www.uscc.gov/sites/default/files/annual_reports/Complete%20Report.PDF에서 확인할 수 있습니다.

⁷⁸ 테렌스 J. 오쇼너시 장군, "상원 군사위원회 증언", 2월 13일, https://www.armed-services.senate.gov/imo/media/doc/OShaughnessy_02-13-20.pdf.

보도에 따르면 중국은 2021년 8월에 장거리 로켓으로 발사된 핵탄두 탑재형 대륙간탄도미사일(79)을 시험했을 가능성이 있다고 합니다.⁸⁰ 중국이 이전에 HGV를 발사할 때 사용했던 탄도 미사일과 달리, 부분 궤도 폭격 시스템(FOBS)인 Long March는 HGV가 목표 궤도에 진입하기 전에 궤도로 발사합니다. 이를 통해 중국은 우주 기반 글로벌 타격 능력을 확보하고 타격 전 표적 경고 시간을 더욱 단축할 수 있습니다.⁸¹

중국은 2014년 이후 DF-ZF 극초음속 활공체를 최소 9회 이상 추가로 시험했습니다.

미국 국방 당국은 DF-ZF의 사거리를 약 1,200마일로 파악하고 있으며, 이 미사일이 비행 중 회피 기동을 수행할 수 있을 것이라고 밝힌 바 있습니다.⁸² 정보기관에 의해 확인되지는 않았지만 일부 분석가들은 DF-ZF가 빠르면 2020년에 실전 배치될 수 있을 것으로 보고 있습니다.⁸³ 또한 2018년 8월 중국은 핵 추진이 가능한 극초음속 비행체 프로토타입인 스타리 스카이-2를 성공적으로 시험했습니다.⁸⁴ 일부 보고서에 따르면 스타리 스카이-2는 2025년까지 운용될 수 있다고 합니다.⁸⁵ 미국 관리들은 이 프로그램에 대한 논평을 거부했습니다.⁸⁶

러시아

러시아는 1980년대부터 극초음속 무기 기술에 대한 연구를 수행해 왔지만, 미국과 유럽에 미국의 미사일 방어 배치에 대응하고 2002년 미국이 탄도 미사일 조약에서 탈퇴한 이후에는 그 노력을 가속화했습니다.⁸⁷ 푸틴 대통령은 2018년에 러시아의 우려를 자세히 설명하면서 "미국은 탄도 미사일 수를 지속적으로 통제 없이 늘리고, 품질을 개선하며, 새로운 미사일 발사 지역을 만드는 것을 허용하고 있다"고 말했습니다. 우리가 무언가를 하지 않으면 결국 러시아의 핵 잠재력이 완전히 평가 절하될 것입니다. 즉, 우리의 모든 미사일은

⁷⁹ 이 핵탄두 탑재 HGV가 오쇼너시 장군이 언급한 것과 같은 모델인지는 확실하지 않습니다.

⁸⁰ 데메트리 세바스토폴로와 캐서린 힐레, "중국, 극초음속 미사일로 새로운 우주 능력 시험", 2021년 10월 16일, <https://www.ft.com/content/ba0a3cde-719b-4040-93cb-a486e1f843fb>. 자오리젠 중국 외교부 대변인은 "이번 시험은 핵을 탑재할 수 있는 HGV의 시험이 아니라 [우주] 차량의 일상적인 시험이었다"고 밝혔습니다. 자오리젠, "정례 기자회견 발언", 중화인민공화국 외교부, 2021년 10월 18일, https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/xwfw_665399/s2510_665401/t1915130.shtml.

⁸¹ 그렉 해들리, "켄달: 중국은 우주에서 지구를 공격할 잠재력이 있다", *Air Force Magazine*, 9월 20일, <https://www.airforcemag.com/global-strikes-space-china-frank-kendall/>.

⁸² "마하 5보다 빠르게 비행하는 활공 미사일이 등장한다.", *이코노미스트*, 2019년 4월 6일, <https://www.economist.com/science-and-technology/2019/04/06/gliding-missiles-that-fly-faster-than-mach-5-are-coming>; 프란츠-스테판 게이디, "중국이 미국 미사일 방어 시스템을 뚫을 수 있는 새로운 무기를 시험한다.", *디플로매트*, 2016년 4월 28일, <https://thediplomat.com/2016/04/china-tests-new-weapon-capable-of-breaching-u-s-missile-defense-systems/>.

⁸³ 미중 경제안보검토위원회 2015년 연례 보고서, 20페이지, https://www.uscc.gov/sites/default/files/연례_보고서/2015%20Annual%20Report%20to%20Congress.PDF에서 확인할 수 있습니다.

⁸⁴ 제시 영, "중국, 첫 극초음속 항공기 시험에 성공했다고 주장", CNN, 2018년 8월 7일, <https://www.cnn.com/2018/08/07/china/china-hypersonic-aircraft-intl/index.html>. 미중 경제안보검토위원회 2018년 연례 보고서, 220페이지, https://www.uscc.gov/sites/default/files/annual_reports/2018%20Annual%20Report%20to%20Congress.pdf 참조.

⁸⁵ 미중 경제안보검토위원회 보고서 2015, 20페이지.

⁸⁶ 빌 거츠, "중국, 신형 극초음속 미사일 시험 공개", 워싱턴 프리 비컨, 2018년 8월 10일, <https://freebeacon.com/national-security/chinas-reveals-test-new-hypersonic-missile/>.

⁸⁷ 유엔 군축 사무국, 극초음속 무기: 초음속 무기: 전략 무기 통제를 위한 도전과 기회, 2019년 2월, <https://www.un.org/disarmament/publications/more/hypersonic-weapons-a-challenge-and-opportunity-for-strategic-arms-control/>에서 확인할 수 있습니다.

간단히 요격할 수 있습니다."⁸⁸ 따라서 러시아는 미국의 미사일 방어망을 뚫고 전략적 안정감을 회복할 수 있는 확실한 수단으로 목표물에 접근하면서 기동할 수 있는 극초음속 무기를 찾고 있습니다.⁸⁹

러시아는 아방가르드와 3M22 지르콘(또는 지르콘)이라는 두 가지 핵 탑재 가능 극초음속 무기를 개발하고 있습니다. 아방가르드는 ICBM에서 발사되는 극초음속 활공체로, "사실상 '무제한' 사거리"를 제공합니다.⁹⁰ 러시아 뉴스 소식통에 따르면 아방가르드는 2019년 12월에 취역했습니다.⁹¹ 시르콘의 사거리는 약 250~600마일이며 순양함 나키모프 제독과 표트르 벨리키, 프로젝트 20380 코르벳함, 프로젝트 22350 호위함, 프로젝트 885 야센급 잠수함 등에 장착된 수직발사 시스템에서 발사할 수 있습니다.⁹² 러시아 뉴스 소식통은 2020년 1월, 10월, 12월에 프로젝트 22350 호위함에서, 2021년 10월에 프로젝트 885 야센급 잠수함에서 지르콘이 성공적으로 진수되었다고 주장합니다.⁹³ 러시아 뉴스 소식통에 따르면 2022년 5월 시험에 성공한 이 미사일은 2022년 말에 실전 배치될 예정이며, 프로젝트 22350 호위함에 배치될 가능성이 높다고 합니다.⁹⁴

국제 기관

극초음속 무기 개발을 감독하기 위한 국제 조약이나 협약은 없습니다. 미국과 러시아 간의 전략 공격 무기 조약인 신전략무기감축조약은 극초음속 무기를 특별히 제한하지는 않지만, 극초음속 활공체를 발사하는 데 사용될 수 있는 대륙간탄도미사일(ICBM)은 제한하고 있습니다.⁹⁵ 러시아는 아방가르드 극초음속 활공체를 SS-19 ICBM에 배치했기 때문에 아방가르드를 장착한 미사일이 신전략무기감축조약에 포함된다는 데 동의했습니다. 또한, 조약 제5조는 "당사국이 새로운 종류의 전략 공격 무기가 출현한다고 판단하는 경우, 해당 당사국은 그러한 전략 공격 무기에 대한 문제를 양자협의위원회(BCC)에 제기하여 고려할 권리를 가진다"고 명시하고 있습니다. 이에 따라 일부 법률 전문가들은 신전략무기감축협정에서 극초음속 무기의 추가 유형을 포함하는 조항을 협상할 수 있을 것이라고 주장합니다.

⁸⁸ 블라디미르 푸틴, "연방의회 대통령 연설", 2018년 3월 1일, <http://en.kremlin.ru/events/president/news/56957>에서 확인할 수 있습니다.

⁸⁹ 이 경우 "전략적 안정"은 "상호 취약한 양자 간 핵 관계"를 의미한다. 통 자오, "전략적 안정성에 대한 기존의 도전" 참조: 중국의 극초음속 기술 인식과 안보 딜레마, "카네기-싱화 글로벌 정책 센터, 2018년 7월 23일, <https://carnegietsinghua.org/2018/07/23/conventional-challenges-to-strategic-stability-chinese-perceptions-of-hypersonic-technology-and-security-dilemma-pub-76894>에서 확인할 수 있습니다.

⁹⁰ 스티브 트림블, "극초음속 스포트니크?", 『항공 주간』, 2019년 1월 14-27일, 20페이지.

⁹¹ "Avangard 극초음속 미사일 시스템의 첫 번째 연대가 러시아에서 전투 임무를 수행합니다.", TASS, 2019년 12월 27일, <https://tass.com/defense/1104297>.

⁹² "러시아, 10회 이상 시르콘 해상 초음속 미사일 시험 발사", *TASS*, 2018년 12월 21일,

<http://tass.com/defense/1037426>. 러시아 군사력: 강대국 야망을 뒷받침할 군사력 구축, 국방정보국, 2017, 79페이지,
<https://www.dia.mil/portals/27/documents/news/military%20power%20publications/russia%20military%20power%20report%202017.pdf> 참조.

⁹³ "TASS: 러시아, 첫 함정 기반 극초음속 미사일 시험 발사", *Reuters*, 2020년 2월 27일,

<https://www.voanews.com/europe/tass-russia-conducts-first-ship-based-hypersonic-missile-test>; 새뮤얼 크래니-에반스, "러시아, 첫 잠수함에서 치르콘 극초음속 미사일 시험 발사", *Jane's*(구독 필요), 2021년 10월 4일.

⁹⁴ 이사벨 반 브루겐, "푸틴, 군비 경쟁에서 러시아가 미국을 이기면서 해군에 극초음속 미사일을 제공하다", *뉴스위크*, 2022년 7월 18일, <https://www.newsweek.com/putin-russian-navy-hypersonic-missiles-zircon-1725426>.

⁹⁵ 예를 들어, 러시아의 아방가르드 극초음속 활공체는 대륙간 탄도 미사일로 발사된 것으로 알려졌습니다. 레이철 S. 코헨, "극초음속 무기: 전략적 자산인가 전술적 도구인가?" *Air Force Magazine*, May 7, 2019, <https://www.airforcemag.com/hypersonic-weapons-strategic-asset-or-tactical-tool/> 참조.

제한이 있습니다.⁹⁶ 그러나 신전략무기감축조약은 2026년에 만료될 예정이므로 단기적인 해결책이 될 수 있습니다.⁹⁷ 또한 이 조약은 미국과 러시아 이외의 국가에서 개발된 극초음속 무기에는 적용되지 않습니다.

마지막으로, 일부 분석가들은 우주조약 당사국이 부분 궤도 폭격 시스템에 핵무기를 탑재한 HGV를 발사할 경우 "핵무기 또는 기타 종류의 대량살상무기를 운반하는 모든 물체"를 궤도에 배치하는 것을 금지하는 조약 제4조를 위반할 가능성이 있다고 지적합니다.⁹⁸

의회에 대한 잠재적 질문

- 극초음속 무기는 어떤 임무에 사용되나요? 극초음속 무기가 이러한 잠재적 임무를 수행하는 데 가장 비용 효율적인 수단일까요?
- 극초음속 무기에 대한 임무 요건이 정의되지 않은 상황에서 의회는 극초음속 무기 프로그램에 대한 자금 요청 또는 극초음속 무기 프로그램, 활성화 기술 및 테스트 인프라 지원에 대한 자금 요청의 균형을 어떻게 평가해야 합니까?
- 극초음속 무기의 실전 배치가 전략적 안정성에 어떤 영향을 미치나요? 뉴스타트 확대, 새로운 다자간 무기 통제 협정 협상, 투명성 및 신뢰 구축 활동과 같은 위험 완화 조치가 필요한가?

지향성 에너지(DE) 무기⁹⁹

국방부는 지향성 에너지(DE) 무기를 운동 에너지가 아닌 집중된 전자기 에너지를 사용하여 "적의 장비, 시설 및/또는 인원을 무력화, 손상, 무력화 또는 파괴"하는 무기로 정의합니다.¹⁰⁰ DE 무기는 지상군이 단거리 방공(SHORAD), 대응 무인 항공기 시스템(C-UAS) 또는 대응 로켓, 포병 및 박격포(C-RAM) 임무에 사용할 수 있습니다.¹⁰¹ DE 무기는 사격당 비용이 저렴하고 충분한 전원 공급이 가능하다고 가정할 때¹⁰² 기존 재래식 시스템과 달리 탄창이 거의 무한대에 가까워 미사일을 효율적이고 효과적으로 방어할 수 있는 수단을 제공할 수 있습니다.

⁹⁶ 제임스 액튼은 이렇게 지적합니다: "[뉴스타트] 협상 과정에서 러시아는 부스트 글라이드 무기가 '새로운 종류의 전략적 공격 무기'가 될 수 있으며, 이 경우 조약의 규제 여부와 방법에 대한 양자 간 논의를 촉발할 수 있다고 주장했지만 [당시] 미국은 이를 거부했다." 제임스 M. 액튼, *실버 불릿? 재래식 즉각적인 글로벌 공격에 대한 올바른 질문*, 카네기 국제평화재단, 2013, p. 139, <https://carnegieendowment.org/files/cpgs.pdf>.

⁹⁷ CRS 보고서 R41219, *새로운 START 조약: 중앙 제한과 주요 조항*, 에이미 울프(Amy F. Woolf).

⁹⁸ 제프리 루이스, "중국의 궤도 폭격 시스템은 크고 나쁜 소식이지만 획기적인 것은 아니다", *Foreign Policy*, 2021년

10월 18일, <https://foreignpolicy.com/2021/10/18/hypersonic-china-missile-nuclear-fobs/>.

⁹⁹ 지향성 에너지 무기에 대한 자세한 내용은 CRS 보고서 R46925, 국방부 *지향성 에너지 무기를 참조하세요: 의회의 배경과 쟁점*, 켈리 M. 세일러가 조정했습니다.

¹⁰⁰ 합동참모본부, *합동 전자기 스펙트럼 작전, 합동 간행물 3-85*, 2020년 5월 22일, GL-6.

¹⁰¹ C-UAS 임무에서 DE 무기의 역할에 대한 자세한 내용은 CRS In Focus IF11426, 국방부 *대무인 항공기 시스템*, John R. Hoehn 및 Kelley M. Sayler의 글을 참조하세요.

¹⁰² 화학적으로 연료를 사용하는 레이저에 대한 연구가 진행되었지만, 현재 대부분의 국가에서는 전기로 연료를 사용하는 고체 상태 레이저를 추구하고 있습니다. 그 결과, 발사당 비용은 발사하는 데 필요한 전력 비용과 동일합니다. 아리 엘 로빈슨, "지향성 에너지 무기: Will They Ever Be Ready?", *National Defense*, July 1, 2015, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2015/7/1/2015july-directed-energy-weapons-will-they-ever-be-ready>.

살보 또는 무인 시스템 군집. 이론적으로 DE 무기는 빛의 속도로 이동하는 시간을 고려할 때 부스트 위상 미사일 요격 옵션도 제공할 수 있지만, 극초음속 미사일 방어와 마찬가지로 전문가들은 이 애플리케이션의 경제성, 기술 실현 가능성 및 유용성에 대해 의견이 분분합니다.¹⁰³

DE 무기의 하위 집합인 고출력 마이크로파 무기는 전자 장치, 통신 시스템, 사제 폭발 장치를 무력화하거나 군중 통제를 위한 비살상 '열선' 시스템으로 사용될 수 있습니다.

United 미국

미국은 1960년대부터 지향성 에너지를 연구해 왔지만 일부 전문가들은 "실제 지향성 에너지 프로그램은 ... 기대에 미치지 못하는 경우가 많았다"고 지적하며 국방부가 수십억 달러를 투자했다가 결국 취소된 프로그램을 예로 들었습니다.¹⁰⁴ 다른 사람들은 상업용 레이저의 개발이 군사용으로 활용될 수 있다고 주장합니다.¹⁰⁵ 그러나 지향성 에너지 무기 프로그램은 빔 품질과 제어를 군사적으로 유용한 수준으로 개선할 수 있는지, 현재 플랫폼에 통합하기 위한 전력, 냉각 및 크기 요구 사항을 충족할 수 있는지 등 기술 성숙도에 대한 의문을 계속 제기하고 있습니다.¹⁰⁶

미 해군은 2014년에 USS 폰스 호에 미국 최초의 작전용 DE 무기인 레이저 무기 시스템(LaWS)을 배치했습니다. LaWS는 "적군의 눈을 멀게 하여 경고하고, 드론을 격추하고, 보트를 무력화하거나, 헬리콥터를 손상시킬 수 있는" 30킬로와트(-kW) 레이저 프로토타입이었습니다.¹⁰⁷ 또한 해군은 2012회계연도에 60kW 레이저인 HELIOS를 USS *프레블함*에 설치했으며, 2023회계연도에도 해상 테스트를 계속할 계획입니다.¹⁰⁸ 마찬가지로 육군은 최초의 "전투 관련" 레이저인 50kW 지향성 에너지 이동식 단거리 방공 시스템을 2023 회계연도에 스트라이커 전투 차량에 배치할 계획입니다(이전에는 2022 회계연도로 계획되어 있었습니다).¹⁰⁹ 공중

¹⁰³ 예를 들어, 제임스 N. 밀러와 프랭크 A. 로즈, "나쁜 생각: 우주 기반 요격체와 우주 기반 지향성 에너지 시스템," 전략국제문제연구소, 2018년 12월 13일, <https://defense360.csis.org/bad-idea-space-based-interceptors-and-space-based-directed-energy-systems/>; 저스틴 더블데이, "펜타곤, MDA의 레이저 야망에 제동을 걸고 OSD 주도의 '레이저 확장'으로 자금 지원 전환," *Inside Defense*, 2020년 2월 19일, <https://insidedefense.com/daily-news/pentagon-punts-mdas-laser-ambitions-shifts-funding-toward-osd-led-laser-scaling>.

¹⁰⁴ 폴 샤레, "지향성 에너지 무기" 서문: 약속과 전망", 새로운 미국 안보 센터, 2015년 4월, 4쪽.

¹⁰⁵ 아리엘 로빈슨, "지향성 에너지 무기: 과연 준비될 것인가?", *국방부*, 2015년 7월 1일, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2015/7/1/2015july-directed-energy-weapons-will-they-ever-be-ready>.

¹⁰⁶ Ibid.

¹⁰⁷ 카일 미조카미, "미 육군, 역대 가장 강력한 레이저 무기 실전 배치 계획", *Popular Mechanics*, 2019년 8월 7일. 킬로와트는 전력 단위입니다. 예를 들어 1킬로와트는 1,000와트와 같습니다.

¹⁰⁸ 국방부, 국방부, 회계연도(FY) 2023 예산 추정, 해군 정당화 책자 2권 5호, 연구, 개발, 시험 및 평가, 해군, 2022년 4월, 1011페이지, https://www.secnv.navy.mil/fmc/fmb/Documents/23pres/RDTEN_BA4_Book.pdf; 및 록히드마틴의 HELIOS 함상 레이저 테스트 중, "Seapower Magazine, 2021년 8월 1일, <https://seapowermagazine.org/lockheed-martins-helios-shipboard-laser-being-testing-at-wallops-island/>에서 참조.

¹⁰⁹ 국방부 차관(감사관)/최고재무책임자실, 국방 예산 개요도 참조: 미국 국방부 2023 회계연도 예산 요청, 2022년 4월, 6-6페이지, https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/FY2023/FY2023_예산_요청_개요_책.pdf에서 확인할 수 있습니다. 국방부 차관(감사관)/최고재무책임자실, 국방 예산 개요도 참조하세요: 미국 국방부 2022 회계연도 예산 요청, 2021년 5월, 10-8쪽, <https://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/FY2022/>

포스는 현재 레이저 및 고출력 마이크로웨이브 시스템을 포함한 여러 대(對) UAS DE 시스템에 대한 현장 평가를 진행하고 있습니다.¹¹⁰

전체적으로 국방부는 2023 회계연도에 미분류 DE 연구, 개발, 시험 및 평가(RDT&E)에 최소 6억 9,900만 달러, 미분류 DE 무기 조달에 최소 3억 4,500만 달러를 요청했습니다.¹¹¹ 이러한 프로그램 중 다수는 국방부의 직접 에너지 로드맵을 지원하기 위한 것으로, 현재 실현 가능한 수준인 약 150kW에서 2023 회계연도에는 약 300kW로 확장하고 "2025 회계연도까지 크기와 무게를 줄인 500kW급을 달성하고 2026 회계연도까지 크기와 무게를 더욱 줄이고 출력을 MW[메가와트] 수준으로 높이는 것을 목표 마일스톤으로 삼고 있다."는 계획입니다.¹¹²

중국

미중 경제안보검토위원회에 따르면, 중국은 적어도 1980년대부터 DE 무기를 개발해 왔으며, HPM과 점점 더 강력한 HEL을 개발하는 데 꾸준히 진전을 보이고 있습니다.¹¹³ 중국은 무인 항공기 및 정밀 유도 무기와 교전할 수 있도록 설계된 30킬로와트급 도로 이동형 DE 시스템인 LW-30을 개발한 것으로 알려졌습니다.¹¹⁴ 보고서에 따르면 중국은 또한 공중 이동식 DE 무기 포드를 개발하고 있으며, 인도 태평양에서 미국 및 동맹국 군용기를 방해하고 미국의 항행의 자유 작전을 방해하기 위해 DE 무기를 사용하거나 사용을 제안한 것으로 나타났습니다.¹¹⁵

국방 정보국에 따르면, 중국은 추가로 DE 무기를 추구하고 있습니다.

위성과 위성의 센서를 교란, 성능 저하 또는 손상시킬 수 있으며, 이미 위성 센서에 대한 레이저 시스템을 사용할 수 있는 제한된 능력을 보유하고 있을 가능성이 있습니다. 중국은 2020년까지 저궤도 우주 기반 센서에 대응할 수 있는 지상 기반 레이저 무기를 배치할 가능성이 높으며, 2020년대 중후반에는 비광학 위성의 구조까지 위협을 확대할 수 있는 고출력 시스템을 배치할 수 있습니다.¹¹⁶

FY2022_예산_요청_개요_책.pdf.

¹¹⁰ 미국 DE 프로그램에 대한 보다 심층적인 논의는 CRS 보고서 R46925, *국방부 주도 에너지 무기를 참조하세요: 의회의 배경과 쟁점*, 켈리 M. 세일러가 조정했습니다.

¹¹¹ 이 수치에는 국방부 전체 프로그램과 공군, 육군, 해군이 관리하는 프로그램에 대한 자금이 포함되어 있습니다. 2023 회계연도 예산 문서에 대한 CRS 분석; 자세한 내용은 CRS 보고서 R46925, *국방부 주도 에너지 무기의 부록 B*를 참조하십시오: *의회를 위한 배경과 쟁점*, 켈리 M. 세일러가 조정했습니다.

¹¹² 국방부 연구 및 엔지니어링 차관실과의 CRS 서신, 2022년 9월 8일. 참고로, 다양한 표적을 무력화하는 데 필요한 정확한 출력 수준에 대한 합의는 없지만, 국방부 브리핑 문서에 따르면 약 100kW의 레이저는 무인항공기, 로켓, 포병, 박격포에 대응할 수 있는 반면, 약 300kW의 레이저는 특정 프로파일로 비행하는 소형 보트 및 순항 미사일(즉, 레이저를

향해 비행하는 것이 아니라 레이저를 가로질러 비행하는)을 추가로 대응할 수 있다고 합니다. 1MW 레이저는 탄도 미사일과 극초음속 무기를 잠재적으로 무력화할 수 있습니다. 짐 트레브스 박사, "고에너지 레이저 무기 능력 발전: OUSD(R&E)는 무엇을 하고 있는가?", 2020년 10월 21일 IDGA 프레젠테이션 및 2020년 11월 17일 당시 에너지 현대화 담당 수석 책임자인 짐 트레브스 박사와의 CRS 대화. 필요한 전력 수준은 적의 대응책, 대기 조건 및 영향과 같은 추가 요인에 의해 영향을 받을 수 있습니다.

¹¹³ 미중 경제안보검토위원회(USCC), *USCC 2017 연례 보고서*, 2017년 11월, 563페이지, https://www.uscc.gov/sites/default/files/2019-09/2017_Annual_Report_to_Congress.pdf.

¹¹⁴ 니콜라이 노비치코프, "에어쇼 차이나 2018: CASIC의 LW-30 레이저 무기 시스템, 은폐를 깨다", *Jane's Defense Weekly*, 2018년 11월 9일.

¹¹⁵ Andrew Tate, "중국, 공중 레이저 기반 무기 포드 조달 목표," *Jane's Defense Weekly*, 2020년 1월 8일; Patrick M. Cronin, Ryan D. Neuhard, "중국의 레이저 공세에 대응하기," *The Diplomat*, 2020년 4월 2일, <https://thediplomat.com/2020/04/countering-chinas-laser-offensive/>.

¹¹⁶ 국방정보국, *우주 안보에 대한 도전*, 2019년 2월, 20쪽, <https://www.dia.mil/Portals/> 참조

러시아

러시아는 1960년대부터 DE 무기 연구를 수행해 왔으며, 특히 HEL에 중점을 두고 있습니다. 러시아는 이동식 지상 기반 HEL인 페레스베트를 여러 대의 이동식 대륙간탄도미사일 유닛과 함께 배치한 것으로 알려졌습니다. 페레스베트의 위력 수준을 포함하여 공개적으로 알려진 바는 거의 없지만, 일부 분석가들은 위성을 교란하고 무인 항공기 시스템에 대한 점 방어를 제공하기 위한 것이라고 주장합니다.¹¹⁷ 알렉세이 크리보루치코 러시아 국방부 차관은 페레스벳의 위력을 높이고 군용기에 배치하기 위한 노력이 진행 중이라고 밝혔습니다.¹¹⁸ 보도에 따르면 러시아는 대위성 임무를 수행할 수 있는 추가 HEL뿐만 아니라 HPM도 개발 중일 수 있다고 합니다.

국제 기관

DE 무기는 "국제법상 공식적으로 정의되어 있지 않으며, 현재 기존 다자간 메커니즘의 의제에도 포함되어 있지 않습니다."¹¹⁹ 그러나 DE 무기의 특정 용도는 금지되어 있습니다. 예를 들어, CCW "실명 레이저에 관한 의정서"의 의정서 I은 "유일한 전투 기능 또는 전투 기능 중 하나로 시력이 개선되지 않은 사람에게 영구적인 실명을 유발하도록 특별히 설계된 레이저 무기"의 사용을 금지하고 있습니다.¹²⁰ 일부 분석가들은 다자간 협약을 고려해야 한다고 제안했습니다. 예를 들어, 의회는 일시적인 시각 장애를 유발하기 위한 "열선" 또는 레이저와 같은 비살상 대인용 DE 무기 또는 항공기 교란과 같은 특정 군사적 용도의 DE 무기 사용을 평시에 금지하는 것을 고려할 수 있습니다.¹²¹ 다른 분석가들은 DE 무기의 정확도가 잠재적으로 부수적 피해를 줄일 수 있고 치명적인 무력을 사용할 수 있는 상황에서 비살상 대인 능력을 제공할 수 있기 때문에 기존 무기보다 더 인도적인 무기로 간주될 수 있다고 주장하기도 합니다.¹²²

27/Documents/News/Military%20Power%20Publications/Space_Threat_V14_020119_sm.pdf.

¹¹⁷ 국방정보국, *우주 안보에 대한 도전*, 2019년 2월, 23페이지, <https://www.dia.mil/Portals/>

27/Documents/News/Military%20Power%20Publications/Space_Threat_V14_020119_sm.pdf, "푸틴, 러시아의 새로운 레이저 무기 환영", *AP통신*, 2019년 5월 17일, <https://apnews.com/ff03960c48a6440bacc1c2512a7c197a>.

¹¹⁸ Bart Hendrickx, "Peresvet: 적 위성을 현혹하는 러시아 이동식 레이저 시스템", *The Space Review*, 2020년 6월 5일, <https://www.thespacereview.com/article/3967/1>.

¹¹⁹ "지향성 에너지 무기: 특정 재래식 무기 협약(CCW)에 관한 논의 문서", 제36조, 2017년 11월.

¹²⁰ 이 의정서는 이러한 무기의 개발, 조달 또는 보유를 다루지 않으며, "부수적 또는 부수적 효과로" 실명을 유발할 수 있는 레이저 무기의 사용을 금지하지도 않습니다. *과도하게 인명을 해치거나 무차별적인 영향을 미칠 수 있는 특정 재*

래식 무기의 사용 금지 또는 제한에 관한 협약 추가 의정서, 비엔나, 1995년 10월 13일, 유엔, 조약 시리즈, 1380권, 370 페이지, https://treaties.un.org/doc/Treaties/1995/10/19951013%2001-30%20AM/Ch_XXVI_02_ap.pdf 에서 확인할 수 있습니다.

프로토콜과 DE 무기 프로그램과의 관계에 대한 자세한 내용은 CRS 보고서 R41526, *지상, 공중 및 미사일 방어를 위한 해군 함상 레이저: 의회의 배경과 쟁점*(Ronald O'Rourke 저)의 부록 I을 참조하세요.

¹²¹ 패트릭 크로닌(Patrick M. Cronin) 및 라이언 노하드(Ryan D. Neuhard), "중국의 레이저 공세에 대응", 더 디플로맷, 2020년 4월 2일, <https://thediplomat.com/2020/04/countering-chinas-laser-offensive/>.

¹²² 예를 들어, 마크 건징거와 크리스 도허티, *게임 바꾸기* 참조: *지향성 에너지 무기의 약속*, 전략 및 예산 평가 센터, 2021년 4월 19일, https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA_ChangingTheGame_ereader.pdf 참조.

의회에 대한 잠재적 질문

- DE 무기의 기술적 성숙도가 현재의 자금 수준을 보장할 수 있을까요? 상업용 레이저의 발전이 군사용으로 활용될 수 있다면 어느 정도까지 가능할까요?
- DE 무기에 대한 미국의 현장 시험은 얼마나 성공적이었습니까? DE 무기 사용을 최적화하거나 DE 무기 사용과 다른 미군 작전의 충돌을 해소하기 위해 작전 개념, 교전 규칙 또는 전술에 변경이 필요한가?
- 미군의 DE 무기 사용은 어떤 상황에서 어떤 목적으로 허용되어야 하는가? 전시 및 평시 DE 무기 사용과 관련하여 미국이 고려해야 할 규정, 조약 또는 기타 조치가 있다면 어떤 것이 있습니까?

생명공학

생명공학은 생명과학을 기술적 응용에 활용합니다. 생명공학의 여러 발전은 미군과 국제 안보 전반에 잠재적인 영향을 미칠 수 있습니다. 2018년 미국 회계감사원 보고서에 따르면 국방부, 국무부, 국토안보부, 국가정보국장실은 저비용 유전자 편집 도구인 크리스퍼(¹²³)와 같은 생명공학 기술이 다음과 같은 잠재력을 가지고 있다고 평가합니다.

유전자를 변경하거나 DNA를 생성하여 식물, 동물, 인간을 변형합니다. 이러한 생명공학 기술은 군인의 능력을 향상시키거나 저하시키는 데 사용될 수 있습니다. 자연계에 존재하지 않는 유전자 코드를 만드는 데 사용되는 합성 생물학의 확산은 화학 및 생물학 무기를 만들 수 있는 행위자의 수를 증가시킬 수 있습니다.¹²⁴

마찬가지로 미국 정보 기관의 2016년 전 세계 위협 평가에서도 게놈 편집을 잠재적인 대량 살상 무기로 언급했습니다.¹²⁵

또한 생명공학 기술은 적응형 위장, 은폐 장치 또는 더 가볍고 강하며 잠재적으로 자가 치유가 가능한 신체 및 차량 장갑을 만드는 데 사용될 수 있습니다.¹²⁶ 특히 생물학적 무기, 게놈 편집 또는 보다 침묵적인 형태의 인간 성능 수정과 관련하여 미국의 경쟁국들이 생명공학 기술의 연구 및 적용에 있어 동일한 윤리적 기준을 적용하지 않을 수 있다는 우려가 제기되고 있습니다.¹²⁷

¹²³ CRISPR에 대한 일반적인 개요는 CRS 보고서 R44824, *고급 유전자 편집을 참조하세요: CRISPR-Cas9*, Marcy E. Gallo et al.

¹²⁴ 미국 회계감사원, *국가 안보: 연방 기관이 파악한 미국이 직면한 장거리 신종 위협*, 2018년 12월, <https://www.gao.gov/assets/700/695981.pdf>.

¹²⁵ 제임스 R. 클래퍼, "기록에 대한 진술: 미국 정보 커뮤니티의 전 세계 위협 평가", 미국 상원 군사위원회 증언, 2016년 2월 9일.

¹²⁶ 패트릭 터커, "미 육군이 합성 생물학을 우선순위로 삼고 있다", *Defense One*, 2019년 7월 1일; "육군 과학자들이 합성 생물학 잠재력을 탐구하다", 미국 육군, 2019년 6월 24일, https://www.army.mil/article/223495/army_scientists_explore_synthetic_biology_potential에서 확인할 수 있습니다.

¹²⁷ 제임스 클래퍼, "기록에 대한 진술: 미국 정보 커뮤니티의 전 세계 위협 평가," 미국 상원 군사위원회 증언, 2016년 2월 9일; 다니엘 R. 코츠, "기록용 성명서," 미국 상원 군사위원회 증언, 2018년 3월 6일; 미국 정보 커뮤니티의 전 세계 위협 평가", 미국 상원 군사위원회 증언, 2018년 3월 6일. 미군은 오랫동안 카페인과 같은 특정 약물을 사용해 왔습니다,

United 미국

군사적 용도로 사용되는 미국의 기밀 해제된 생명공학 프로그램은 주로 "준비태세, 복원력, 회복력"을 향상시키는 데 중점을 둡니다. 예를 들어, DARPA는 전장 의학, 진단 및 예후에 전념하는 여러 생명공학 프로그램을 운영하고 있습니다. 또한 외상성 뇌 손상의 영향을 완화하고, 우울증 및 외상 후 스트레스와 같은 신경 정신 질환을 치료하며, 미국 식량 공급에 대한 전염병 및 생명공학 위협으로부터 보호하기 위한 옵션을 모색하고 있습니다. 또한 DARPA의 세이프 유전자 프로그램은 "게놈 편집 기술의 우발적 또는 의도적 오용으로부터 군인을 보호"하는 것을 목표로 합니다.¹²⁸ "새로운 바이오 기반 재료와 센서를 개발하기 위한" 합성 생물학 분야의 3년간 4,500만 달러 규모의 공동 연구 이니셔티브를 완료한 서비스 연구소에서는 생명공학 연구도 수행되고 있습니다.¹²⁹

또한 일부 보고서에 따르면 미국은 군인을 "더 강하고, 더 똑똑하고, 더 유능하게 만들고, 다른 인간보다 더 지구력을 갖게 하는" 응용 프로그램을 포함하여 군인의 치사율을 높이기 위한 생명공학 및 신경과학 응용 프로그램을 연구 중이거나 이전에 연구한 적이 있다고 합니다.¹³⁰ 일부 단체는 이 연구에 대해 윤리적 우려를 표명했습니다. 미국은 1974년부터 2017년까지 대통령 소속의 생명윤리위원회를 운영했지만, 현재 윤리적 우려를 검토하기 위한 국가적 프레임워크는 없습니다.¹³¹

마지막으로, 국방부는 "중요 공급망 자재에 대한 대체 공급원을 제공하기 위한 바이오 제조 능력의 고급 개발 및 운영 테스트"와 기타 "비의료 공급망 탄력성에 필요한 제품"을 모색하고 있습니다.¹³² 국방부는 2023 회계연도에 생명공학 분야에 13억 달러를 요청했습니다.¹³³

국방부 고유의 생명공학 연구 전략은 없는 것으로 보이지만, 바이든 행정부는 2022년 10월에 *생물학적 위협 대응, 팬데믹 대비 강화, 글로벌 보건 안보 달성을 위한 국가 생물방어 전략 및 실행 계획과 생물학적 위협 대응, 팬데믹 대비 강화, 글로벌 보건 안보 달성에 관한 국가 안보 각서 (NSM-15)*를 발표했습니다.¹³⁴ 이 문서에는 "미국 정부가 어떻게 생물학적 위협을 관리할 것인지"에 대한 개요가 나와 있습니다.

모다피닐, 텍스트로암페타민, 각종 수면 보조제 등 군인의 수행 능력을 향상시키는 약물을 금지하고 있으며, 아나볼릭 스테로이드 및 혈액 도핑과 같은 기타 수행 능력 향상 약물 및 기법은 금지하고 있습니다. 폴 샤레와 로렌 피쉬, *인간 성과 향상*, 새로운 미국 안보 센터, 2018년 11월 7일, <https://www.cnas.org/publications/reports/human-performance-enhancement-1> 참조.

¹²⁸ 국방고등연구계획국, "우리의 연구: 생물학 기술실," <https://www.darpa.mil/our-research?Filter=&oFilter=1> 참조.

¹²⁹ 마리아 알리아-노보빌스키, "미래 전투기 수요에 대응하기 위해 합성생물학 전문성을 활용하는 Tri-Service 노력," 라이트-패터슨 공군기지, 2017년 9월 27일.

¹³⁰ 애니 제이콥슨, *펜타곤의 두뇌: 미국의 일급 비밀 군사 연구 기관인 DARPA의 무수정 역사* (뉴욕: Little, Brown and Company, 2015). 마이클 조셉 그로스, "군인의 뇌를 프로그래밍하려는 펜타곤의 추진", *The Atlantic*, 2018년 11월, <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2018/11/the-pentagon-wants-to-weaponize-the-brain-what-could-go-wrong-with-the-brain/570841/> 참조.

¹³¹ 이러한 위원회의 연혁은 대통령 소속 생명윤리문제연구위원회, "생명윤리위원회 연혁", 2017년 1월 15일에 보관, <https://bioethicsarchive.georgetown.edu/pcsbi/history.html> 참조.

¹³² 국방부 차관(감사관)/최고재무책임자실, *국방 예산 개요: 미국 국방부 2023 회계연도 예산 요청*, 2022년 4월, 4-7페이지, https://comptroller.defense.gov/포털/45/Documents/defbudget/FY2023/FY2023_예산_요청_개요_책.pdf에서 확인할 수 있습니다.

¹³³ Ibid.

¹³⁴ 백악관, *생물학적 위협 대응, 팬데믹 대비 강화, 글로벌 보건 안보 달성을 위한 국가 생물방어 전략 및 실행 계획*, 2022년 10월, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/National-Biodefense-Strategy-and-Implementation-Plan->.

생물학적 위협을 보다 효과적으로 평가, 예방, 대비, 대응, 복구하기 위한 활동, 생물방어 노력을 [주, 지방, 부족, 영토] 기관, 국제 파트너, 산업, 학계, 비정부기구, 민간 부문과 조정하는 활동"이라고 설명합니다.¹³⁵ 행정부는 현재 "기존 자금으로 전략의 주요 조치를 이행 중"이지만, 완전한 이행을 위해서는 "팬데믹 대비 및 생물 방어를 위한 대통령의 5년 간 880억 달러 요청을 포함한 추가 자원을 제공하기 위한 의회의 지원이 필요하다"고 지적합니다.¹³⁶

의회는 새로운 생명공학 기술의 군사적 적용에 대한 감독을 수행하는 데 관심을 표명해 왔습니다. 예를 들어, 2020회계연도 NDAA(P.L. 116-92) 263조에 따라 국방부는 "신형 생명공학 기술의 군사적 이해와 국방부의 국가 안보 요건에 대한 적용의 관련성을 검토"하고 향후 입법 및 행정 활동에 대한 권장 사항을 제공해야 합니다."¹³⁷ 2021 회계연도 NDAA(P.L. 116-283)의 섹션 278은 국방부에 "국가 안보 목적의 신형 생명공학 분야의 역량을 평가하고... 미국의 역량과 미국의 적대국의 역량을 직접 비교"하도록 지시하고 있습니다.¹³⁸ 마지막으로, 2022 회계연도 NDAA(P.L. 117-81)의 섹션 1091은 "미국의 국가 안보 및 국방 필요를 포괄적으로 해결하기 위해 미국이 생명공학, 생물 제조 및 관련 기술 개발을 발전시키고 확보하는 데 필요한 방법, 수단 및 투자를 고려"하는 신형 생명공학에 관한 국가안보위원회를 설립합니다. 위원회는 2023년 1월 26일까지 중간 조사 결과와 권고안을 의회 국방위원회와 대통령에게 제출하고, 2024년 1월 26일까지 최종 보고서를 제출해야 합니다.¹³⁹

중국

인구 고령화와 의료 수요 증가에 힘입어 중국은 생명공학 연구에 특히 많은 관심을 기울이고 있습니다. 생명공학은 중국의 '중국 제조 2025' 이니셔티브에서 핵심 전략적 우선순위로 꼽히며, 중국의 '중국 제조 2025'에서도 추가로 강조되고 있습니다.

Final.pdf; 및 백악관, *생물학적 위협 대응, 팬데믹 대비 강화, 글로벌 보건 안보 달성에 관한 국가 안보 각서*, 2022년 10월 18일, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/10/18/national-security-memorandum-on-counteracting-biological-threats-enhancing-pandemic-preparedness-and-achieving-global-health-security/>에서 확인할 수 있습니다. 다이앤 디올리스, "전장을 위한 생명공학: 전략이 필요하다", *War on the Rocks*, 2018년 11월 27일.

¹³⁵ 백악관, *생물학적 위협 대응, 팬데믹 대비 강화, 글로벌 보건 안보 달성을 위한 국가 생물방어 전략 및 실행 계획*, 10월 2022, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/National-Biodefense-Strategy-and-Implementation-Plan-Final.pdf>에서 확인할 수 있습니다.

¹³⁶ 백악관, "팩트 시트: Biden-Harris 행정부, 보건 보안 강화 및 생물 위협 대비 전략 발표", 2022년 10월 18일, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/10/18/fact-sheet-biden-harris-administration-releases-strategy-to-strengthen-health-security-and-prepare-for-biothreats/>에서 확인할 수 있습니다. 이 880억 달러의 요청에는 보건복지부, 준비 및 대응 차관보실, 질병통제예방센터, 국립보건원, 식품의약국, 국무부, 미국 국제개발처에

대한 자금이 포함되며 국방부에 대한 자금은 포함되지 않습니다.

¹³⁷ P.L. 116-92, 섹션 2, 디비전 A, 타이틀 II, §263.

¹³⁸ P.L. 116-283, 섹션 2, 디비전 A, 타이틀 II, §278.

¹³⁹ 군사위원회에서 임명된 8명의 위원 명단은 <https://armedservices.house.gov/press-releases?ID=5806E52B-95BB-4921-9F92-D1A5BC2DA8C4> 에서 확인할 수 있습니다. 추가 위원 한 명은 하원 의장, 하원 소수당 원내대표, 상원 다수당 원내대표, 상원 소수당 원내대표가 각각 임명합니다.

현재 5개년 개발 계획을 발표했습니다.¹⁴⁰ 특히 중국은 유전자 검사 및 정밀 의학을 위한 생명공학 기술을 적극적으로 추구하고 있습니다. 2016년에는 중국 과학자들이 최초로 인간에게 크리스퍼 유전자 편집 도구를 사용했으며, 2018년에는 중국 과학자가 중국 정부의 승인을 받아 최초의 "유전자 편집 아기"를 생산하기도 했습니다.¹⁴¹ 또한 중국은 세계 최대 규모의 유전자 정보 저장소 중 하나인 국립 유전자 은행을 관리하고 있으며, 여기에는 미국 유전자 데이터가 포함되어 있습니다. 이러한 정보는 개인 맞춤형 질병 치료 계획이나 잠재적으로 정밀 생물무기를 개발하는 데 사용될 수 있습니다.¹⁴²

생명공학의 특정 군사적 응용에 대한 중국의 연구에 대한 오픈 소스 정보는 제한적이지만, 중국의 군-민 융합 정책은 중국 군이 민간 생명공학의 발전을 쉽게 활용할 수 있게 해줄 것입니다.¹⁴³ 또한 보고서에 따르면 중국 중앙군사위원회는 "군사 뇌 과학, 첨단 생체 모방 시스템, 생물학적 및 생체 모방 물질, 인간 성능 향상, '신개념' 생명공학에 대한 프로젝트에 자금을 지원했으며, 중국 군 의료 기관은 크리스퍼 유전자 편집에 대한 광범위한 연구를 수행했다."고 합니다.¹⁴⁴

러시아

러시아는 2012년에 러시아 생명공학 분야의 위상을 높이기 위한 범정부 전략인 BIO2020을 발표했지만, 러시아의 생명공학 연구는 미국과 중국에 비해 여전히 뒤처져 있습니다.¹⁴⁵ BIO2020은 러시아의 생명공학 연구 우선 분야를 바이오제약 및 바이오의학, 산업 생명공학 및 바이오에너지, 농업 및 식품 생명공학, 산림 생명공학, 환경 보호 생명공학, 해양 생명공학으로 지정하고 있습니다.¹⁴⁶

러시아가 군사 또는 국가 안보 맥락에서 이러한 이중 용도 기술을 어떻게 사용할 수 있는지에 대한 정보는 거의 공개되어 있지 않습니다. 그러나 러시아가 1992년 화학무기협약을 위반하고 노비축 신경작용제를 사용해 영국의 전 이중 스파이를 암살하려 했다는 비난은 러시아가 합성 생물학에서 파생된 생물학 작용제를 포함한 생물학적 작용제를 무기화할 때 마찬가지로 제한을 받지 않을 수 있음을 시사합니다.¹⁴⁷

¹⁴⁰ "중화인민공화국 개요" 14th "국가 경제 및 사회 발전 5개년 계획 및 2035년 장기 목표", *신화통신*, 2021년 3월 12일, 에세테라 언어 그룹에서 번역, https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0284_14th_Five_Year_Plan_EN.pdf.

¹⁴¹ 국제적인 항의가 빚발치는 가운데 중국은 이 과학자에게 3년 징역형을 선고하고 그의 연구를 "극도로 가증스러운 것"이라고 규정했습니다. 마이클 스탠더트, "극도로 가증스러운: 중국 유전자 편집 과학자, 법의 심판을 받다", *알 자지라*, 2018년 11월 26일. 엘사 카니아, "생명공학 무기화: 중국 군대가 '새로운 전쟁 영역'에 대비하는 방법", *Defense One*, 2019년 8월 14일 참조.

¹⁴² 데이비드 J. 린치, "생명공학: 유전자 데이터를 둘러싼 미국과 중국의 분쟁", *파이낸셜 타임즈*, 2017년 7월 31일. 엘사 카니아와 윌슨 본딕, "중국의 군사 생명공학 프론티어" 참조: CRISPR, 군사-민간 융합, 그리고 군사 문제의 새로운 혁명," *Jamestown Foundation*, 2019년 10월 8일, <https://jamestown.org/program/chinas-military-biotech-frontier-crispr-military-civil-fusion-and-the-new-revolution-in-military-affairs/>에서 확인할 수 있습니다.

¹⁴³ 엘사 카니아와 윌슨 본딕, "생명공학 무기화: 중국 군대가 '새로운 전쟁 영역'에 대비하는 방법," *디펜스 원*, 2019년 8월 14일, <https://www.defenseone.com/ideas/2019/08/chinas-military-pursuing-biotech/159167/>에서 확인 가능.

¹⁴⁴ Ibid.

¹⁴⁵ 러시아 연방, "BIO2020: 러시아 연방의 생명공학 발전을 위한 국가 조정 프로그램 요약", 2012.

¹⁴⁶ Ibid.

¹⁴⁷ 마크 어번, "솔즈베리 공격, 러시아 무기 비축의 '증거'," *BBC*, 2019년 3월 4일. 합성 생물학이 제기하는 잠재적 국가 안보 위협에 대한 전체 평가는 합성 생물학으로 인한 잠재적 생물방어 취약성을 식별하고 해결하기 위한 전략 위원회의 합의 보고서를 참조하세요: *생물 방어*

실제로 소련은 1972년 생물무기금지협약을 위반하여 광범위하고 오랜 기간 동안 생물무기 프로그램인 바이오프레파라트를 유지해 온 것으로 알려져 있습니다.¹⁴⁸ 또한 2020년 8월 미국 상무부, 국무부, 국방부, 에너지부, 재무부 대표로 구성된 최종 사용자 검토 위원회(ERC)는 러시아 연구 기관 3곳이 러시아 생물무기 프로그램과 관련이 있다고 믿을 만한 "합당한 이유"가 있다고 밝혔습니다.¹⁴⁹

국제 기관

국제법상 생명공학 기술의 무기화만이 금지되어 있습니다.¹⁵⁰ 일부 국제 기관은 생명공학의 광범위한 영향을 고려하는 데 관심을 보이고 있습니다. 예를 들어, 1983년부터 아세안에서는 지역 생명공학 프로젝트의 조정을 촉진하는 생명공학 소위원회를 운영해 왔습니다. 이와 유사하게, OECD는 1993년부터 생명공학 발전을 모니터링하고 생명공학 연구와 관련된 다양한 부문(예: 농업, 과학 기술, 환경, 산업)간의 조정을 촉진하는 생명공학 내부 조정 그룹을 운영하고 있습니다. 또한 유엔 생물다양성협약은 유전자 변형 생물체의 개발과 사용에 대한 규제를 담당하고 있습니다.¹⁵¹ 그러나 이러한 기관은 생명공학 기술의 군사적 응용에 특별히 초점을 맞추고 있지 않습니다.

잠재적 군사화의 측면에서 1972년 생물무기금지협약은 5년마다 조약의 이행과 생명공학의 지속적인 발전을 평가하는 검토회의를 개최하도록 규정하고 있습니다. 검토 회의 사이에 연례 회의가 개최되어 관련 주제를 비공식적으로 검토하고 생물안보를 강화하기 위한 각국의 양자 및 다자적 노력을 다룹니다. 일부 분석가들은 생명공학 기술의 군사화를 고려하고 특정 응용 분야에 대한 잠재적 규제 또는 제한을 논의하기 위한 국제적 프레임워크를 구축해야 한다고 주장하고 있습니다.¹⁵²

의회에 대한 잠재적 질문

- 연구 우선순위를 파악하고 부서 전체의 연구를 조정하기 위해 국방부 생명공학 전략 또는 조직이 필요합니까? 국가 생물방어 전략을 완전히 이행하기 위해 필요한 자원이나 조직 변화가 있다면 어떤 것이 있습니까?
- 미국의 경쟁국들은 어떤 생명공학 기술을 군사적으로 활용하고 있는가? 미군은 생명공학 기술의 잠재적 전쟁 수행 유용성과 윤리적 고려 사항의 균형을 적절히 유지하고 있는가?

합성 생물학의 시대, 미국 국립과학원, 2018, <http://nap.edu/24890>.

¹⁴⁸ 루카스 트라키마비치우스 "러시아는 생물무기금지협약을 위반하고 있는가?", 대서양위원회, 2018년 5월 23일, <https://www.atlanticcouncil.org/blogs/new-atlanticist/is-russia-violating-the-biological-weapons-convention/>.

¹⁴⁹ ERC는 "미국의 국가 안보 또는 외교 정책 이익에 반하는" 행동을 하는 단체를 식별하는 단체 목록에 이러한 연구 기관을 추가했습니다. 상무부, "법인 목록에 법인 추가 및 법인 목록의 항목 수정," 2020년 8월 27일, <https://www.federalregister.gov/documents/2020/08/27/2020-18909/addition-of-entities-to-the-entity-list-and-revision-of-entries-on-the-entity-list>.

¹⁵⁰ 미국, 중국, 러시아는 생물무기의 개발과 생산을 금지하는 법적 구속력이 있는 조약인 1972년 생물무기금지협약을 비준했습니다.

¹⁵¹ 미국은 이 협약 또는 관련 규약의 당사국이 아닙니다.

¹⁵² 예를 들어, 브렛 에드워즈, "우리는 이야기해야 합니다: 생명공학의 군사화," *미국 원자 과학자 회보*, 2017년 8월 4일, <https://thebulletin.org/2017/08/weve-got-to-talk-the-militarization-of-biotechnology/> 참조.

- 합성 생물학, 게놈 편집, 인간 성능 수정과 같은 생명공학 기술의 군사적 응용에 대한 윤리적, 도덕적, 법적 영향을 고려하기 위해 필요한 국내 및 국제적 프레임 워크가 있다면 어떤 것이 있습니까?

양자 기술¹⁵³

양자 기술은 양자 물리학의 원리를 기술적 응용으로 변환하는 기술입니다.¹⁵⁴ 일반적으로 양자 기술은 아직 성숙 단계에 이르지 못했지만 군사 감지, 암호화 및 통신의 미래에 중요한 영향을 미칠 수 있습니다. GAO 보고서에 따르면 국방부, 국무부, 국토안보부, 국가정보국은 "양자 통신을 통해 적들이 미군이 가로채거나 해독할 수 없는 보안 통신을 개발할 수 있다"고 평가했습니다. 양자 컴퓨팅을 통해 공격자는 [기밀, 기밀 또는 민감한] 정보를 해독할 수 있으며, 이를 통해 미국 요원과 군사 작전을 표적으로 삼을 수 있습니다."¹⁵⁵

양자 기술은 이론적으로 잠수함 탐지를 크게 개선하여 바다를 "투명하게" 만들 수 있는 양자 감지 등 다른 군사적 응용 분야에도 적용될 수 있습니다.¹⁵⁶ 이는 결국 미국의 해상 기반 핵 억지력의 생존 가능성을 손상시킬 수 있습니다. 양자 센싱은 또한 이론적으로 군대가 GPS 성능이 저하되거나 GPS가 거부되는 환경에서도 계속해서 최대 성능으로 작전을 수행할 수 있는 대체 위치, 탐색 및 타이밍 옵션을 제공할 수 있습니다.

그러나 이러한 기술의 군사적 적용은 미세한 움직임, 온도 변화 또는 기타 환경 요인에 의해 방해받을 수 있는 양자 상태의 취약성 때문에 제약을 받을 수 있습니다. 물리학자 미켈 후크는 "양자 기술을 사용하는 미래의 디바이스가 매우 낮은 온도로 냉각해야 한다면, 이는 비싸고 부피가 크며 전력을 많이 소모하게 될 것"이라고 설명했습니다.¹⁵⁷ 따라서 양자 기술을 광범위하게 채택하려면 재료 과학과 제조 기술에서 상당한 발전이 필요할 것입니다.

¹⁵³ CRS 인 포커스 IF11836, *국방 입문서* 참조: *양자 기술*, 켈리 M. 세일러 저.

¹⁵⁴ 이러한 원리에는 "양자 시스템이 동시에 두 개 이상의 상태로 존재할 수 있는" 중첩과 "시스템 내 두 개 이상의 양자 객체가 본질적으로 연결되어 두 객체가 얼마나 멀리 떨어져 있는지에 관계없이 한 객체의 측정이 다른 객체에 대한 가능한 측정 결과를 지시할 수 있는" 얽힘이 포함됩니다. Emily Grumbling 및 Mark Horowitz, 편집, *양자 컴퓨팅: 진보와 전망*, 미국 국립과학원, 2019, <https://www.nap.edu/read/25196/chapter/1>. 양자 기술에 대한 자세한 내용은 CRS 보고서 R45409, *양자 정보 과학을 참조하세요: 응용, 글로벌 연구 개발 및 정책 고려 사항*, Patricia Moloney Figliola 작성.

¹⁵⁵ 미국 회계감사원, *국가 안보: 연방 기관이 파악한 미국이 직면한 장거리 신종 위협*, 2018년 12월, <https://www.gao.gov/assets/700/695981.pdf>. 현재의 암호화 방식을 깨기 위해서는 양자 컴퓨팅의 상당한 발전이 필요

할 것입니다. 실제로 일부 분석가들은 이러한 방식을 깨기 위해서는 약 2,000만 큐비트('양자 비트'의 줄임말 또는 중첩 원리를 활용하는 컴퓨팅 단위)를 가진 양자 컴퓨터가 필요할 것으로 보고 있으며, 현재 가장 진보된 양자 컴퓨터는 약 256큐비트를 가지고 있습니다. Siobhan Roberts, "이 새로운 스타트업은 기록적인 256큐비트 양자 컴퓨터를 구축했습니다." *MIT Technology Review*, 2021년 11월 17일, <https://www.technologyreview.com/2021/11/17/1040243/quantum-computer-256-bit-startup/>에서 참조하세요.

¹⁵⁶ 마이클 J. 비어콕과 리처드 폰테인, "양자 기술로의 도약: 국가 안보 전문가를 위한 입문서," *War on the Rocks*, 2017년 11월 17일, <https://warontherocks.com/2017/11/leap-quantum-technology-primer-national-security-professionals/>에서 확인할 수 있습니다.

¹⁵⁷ 미국 육군 연구소 공보실, "육군 연구자들이 상온에서 양자 컴퓨팅으로 가는 길을 본다.", 2020년 4월 30일, https://www.army.mil/article/235127/army_연구자들이_상온에서_양자_컴퓨팅으로_가는_경로를_보다_알고_있습니다#:~:text=

United 미국

국방과학위원회의 양자 기술 응용 태스크포스 평가에 따르면, 양자 기술의 세 가지 응용 분야가 다음과 같이 가장 유망한 것으로 나타났습니다.

미군: 양자 감지, 양자 컴퓨팅, 양자 통신.¹⁵⁸ 태스크포스는 양자 센싱이 특정 임무를 수행하는 국방부의 능력을 "극적으로 개선"하여 GPS가 저하되거나 거부되는 환경에서 정밀 탐색 및 타이밍 옵션을 제공하고, 양자 컴퓨터가 암호 해독, 신호 처리 및 AI를 위해 "잠재적으로 국방부에 상당한 계산 능력을 제공할 수 있으며", 양자 통신이 네트워킹 기술을 개선할 수 있다고 지적합니다.¹⁵⁹ 태스크 포스는 "양자 감지 애플리케이션은 현재 임무에 사용할 준비가 되어 있는 반면, 양자 컴퓨팅과 통신은 개발 초기 단계에 있다"고 결론지었습니다..... 양자 레이더는 국방부에 업그레이드된 기능을 제공하지 않을 것"이라고 결론지었습니다.¹⁶⁰ DARPA와 서비스 모두 이러한 연구 분야와 기타 연구 분야에 걸쳐 다양한 양자 기술 프로그램에 자금을 지원하고 있습니다.

또한 일부 분석가들은 현재의 암호화 방식을 깰 수 있는 초기 양자 컴퓨터 프로토타입이 2030~2040년 사이에 개발될 수 있을 것으로 보고 있습니다.¹⁶¹ 이러한 이유로 미국은 포스트 양자 암호화(양자 내성 암호화라고도 함)에 투자하고 있습니다. 2022년 5월, 바이든 행정부는 "미국이 취약한 컴퓨터 시스템을 양자 내성 암호화로 마이그레이션하는 다년간의 프로세스를 시작할 때 기관이 취해야 할 구체적인 조치를 지시"하는 '취약한 암호화 시스템에 대한 위험을 완화하면서 양자 컴퓨팅에서 미국의 리더십을 촉진하는 국가 안보 각서(NSM-10)'를 발표했습니다.¹⁶² NSM-10은 미국 국립표준기술연구소 소장과 국가안보국(NSA) 국장이 양자 내성 암호화에 대한 기술 표준을 개발 중이며 2024년까지 공개할 예정이라고 명시하고 있습니다. 2022년 9월 NSA는 "[국가 보안 시스템]을 위한 [양자 내성] 알고리즘으로의 전환이 NSM-10에 따라 2035년까지 완료될 것으로 예상된다"는 사이버 보안 권고문을 발표했습니다.¹⁶³

2019 회계연도 NDAA 234조에 따라 국방부 장관은 연구 및 엔지니어링 담당 국방부 차관을 통해 양자 기술 프로그램을 조정하고 "국방부와 미국의 다른 부서 및 기관, 적절한 민간 부문 간의 양자 정보 과학 및 기술 연구 및 개발에 대한 기관 간 협력 및 협업"을 제공할 의무가 있습니다.

¹⁵⁸ 국방과학위원회, *양자 기술의 응용: 요약*, 2019년 10월, <https://dsb.cto.mil/reports.htm>.

¹⁵⁹ Ibid.

¹⁶⁰ Ibid.

¹⁶¹ 예를 들어, "양자 컴퓨터가 인터넷을 보호하는 암호화를 깨뜨릴 것이다.", *이코노미스트*, 2018년 10월 10일, <https://www.economist.com/science-and-technology/2018/10/20/quantum-computers-will-break-the-encryption-that-protects-the-internet> 참조.

¹⁶² 백악관, 국가 보안 각서, 취약한 암호화 시스템에 대한 위험을 완화하면서 양자 컴퓨팅에서 미국의 리더십을 촉진하는 것에 관한 국가 보안 각서, 2022년 5월 4일, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/04/national-security-memorandum-on-promoting-united-state-leadership-in-quantum-computing-with-mitigating-risks-to-vulnerable-cryptographic-systems/> 에서 확인할 수 있습니다.

¹⁶³ 미국 국가안보국, "사이버 보안 자문: 사이버 보안 자문: 상용 국가 보안 알고리즘 제품군 2.0 발표", 2022년 9월 7일, https://media.defense.gov/2022/Sep/07/2003071834/-1/-1/0/CSA_CNSA_2.0_ALGORITHMS_.PDF에서 확인할 수 있습니다.

엔티티."¹⁶⁴ 또한 2020 회계연도 NDAA(P.L. 116-92) 220조는 각 군의 장관이 양자 연구를 발전 시키기 위해 "적절한 공공 및 민간 부문 조직과 협력"할 수 있는 양자 정보 과학(QIS) 연구 센터를 설립할 수 있는 권한을 부여하고 있습니다.¹⁶⁵ 현재까지 해군은 해군 연구소를 QIS 연구 센터로 지정했으며, 공군은 공군 연구소를 공군과 우주군 모두의 QIS 연구 센터로 지정했습니다. 육군은 현재로서는 QIS 연구 센터를 설립할 계획이 없습니다.¹⁶⁶

마지막으로, 2021 회계연도 NDAA(P.L. 116-283)의 섹션 214는 향후 1~3년 내에 양자 컴퓨터가 잠재적으로 해결할 수 있는 기술적 과제 목록을 작성하고 매년 업데이트하도록 지시하고 있습니다.¹⁶⁷ 또한 이러한 과제를 연구하는 정부, 산업 및 학계 연구자들에게 양자 컴퓨팅 기능을 제공하기 위해 중소기업과 함께 프로그램을 구축하도록 지시합니다. 섹션 1722는 국방부에 양자 컴퓨터로 인한 위험과 양자 암호화 이후의 현재 표준에 대한 평가를 수행하도록 지시합니다. 또한, 2022 회계연도 NDAA(P.L. 117-81)의 섹션 229는 국방부 장관에게 "이중 용도 양자 능력의 개발 및 배치를 가속화"하기 위한 활동을 수립하도록 지시하고, 섹션 511은 주니어 연구 장교 훈련단의 과학, 기술, 공학 및 수학 교육에 대한 보조금 프로그램을 양자 정보 과학을 포함하도록 확장합니다.

중국

중국은 개발 계획에서 양자 기술 연구의 우선순위를 점점 더 높이고 있습니다.¹⁶⁸ 실제로 시진핑 주석은 양자 통신과 양자 컴퓨팅을 "2030년까지 주요 돌파구를 마련하기 위해 우선적으로 추진해야 할" 핵심 연구 이니셔티브로 언급했으며, 이는 중국의 국가 과학기술 혁신 프로그램에도 명시되어 있습니다.¹⁶⁹ 중국은 이미 양자 기술 분야의 세계적인 리더입니다. 2016년 중국은 "글로벌 양자 암호화 통신 기능"을 제공하기 위해 세계 최초의 양자 위성(Micius)을 발사했습니다.¹⁷⁰ 2017년 중국은 최초의 양자 보안 대륙 간 화상회의를 개최했습니다.¹⁷¹ 또한, 중국은

¹⁶⁴ P.L. 115-232, 섹션 2, 디비전 A, 타이틀 II, §234.

¹⁶⁵ P.L. 116-92, 섹션 2, 디비전 A, 타이틀 II, §220.

¹⁶⁶ CRS, 국방부 연구 및 엔지니어링 차관실과의 서신, 2021년 4월 5일.

¹⁶⁷ 이 서비스를 대신하여 국방부 연구 및 엔지니어링 차관실은 이러한 과제를 양자 화학, 최적화 및 기계 학습으로 식별했습니다. CRS와 국방부 연구 및 엔지니어링 차관실 간의 서신, 2022년 3월 25일.

¹⁶⁸ 중국의 양자 기술 연구 개발 이니셔티브의 역사에 대해서는 엘사 B. 카니아와 존 코스텔로, *양자 헤게모니? 중국의 야망과 미국 혁신 리더십에 대한 도전*, 신미국안보센터, 2018년 9월, 8페이지, https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNASReport-Quantum-Tech_FINAL.pdf?mtime=20180912133406.

¹⁶⁹ Ibid., p. 6.

¹⁷⁰ 국방부 장관실, *의회 연례 보고서: 중화인민공화국과 관련된 군사 및 안보 발전 2019*, 2019년 5월 2일, 146페이지, https://media.defense.gov/2019/May/02/2002127082/-1/-1/1/2019_CHINA_MILITARY_POWER_REPORT.pdf에서 확인할 수 있습니다. 이 위성과 이 섹션에서 논의된 다른 통신 네트워크는 양자 통신의 하위 집합인 양자 키 분배(QKD)를 사용합니다. QKD는 전송 중에 은밀하게 가로챌 수 없는 안전한 통신을 가능하게 합니다. 그러나 현재 장거리 전송에 필요한 중계 스테이션에서는 QKD 통신을 가로챌 수 있습니다.

¹⁷¹ 국방부 장관실, *의회 연례 보고서: 중화인민공화국과 관련된 군사 및 안보 발전 2019*, 2019년 5월 2일, 101페이지, https://media.defense.gov/2019/May/02/2002127082/-1/-1/1/2019_CHINA_MILITARY_POWER_REPORT.pdf.

지상파 양자 통신 네트워크에 막대한 투자를 하고 있습니다. 2016년에는 2,000킬로미터(약 1,250 마일) 길이의 베이징-상하이 양자 네트워크 구축을 완료했으며, 향후 몇 년 내에 전국적으로 네트워크를 확장할 계획입니다.¹⁷² 이러한 양자 기술의 발전은 주로 학계에서 주도해 왔지만, 중국은 13차 5개년 S&T 군사-민간 융합 특별 프로젝트 계획에서 양자 기술을 군사 응용 분야에 활용할 것 다는 의사를 표명했습니다.

러시아

러시아의 양자 기술 개발은 인공지능과 마찬가지로 미국과 중국에 비해 상당히 뒤쳐져 있으며, 일부 분석가들은 러시아가 양자 컴퓨팅 분야에서 "5~10년 뒤쳐져 있다"고 지적합니다.¹⁷³ 개발에 박차를 가하기 위해 러시아는 2019년 12월 향후 5년간 양자 연구에 7억 9,000만 달러를 투자할 계획을 발표하고 5개년 러시아 양자 기술 로드맵을 채택했습니다.¹⁷⁴ 그러나 이러한 이니셔티브는 군사 분야에 국한된 것이 아니며, 러시아가 이를 군에 어떻게 적용할지에 대한 정보는 오픈 소스를 통해 제한적으로 공개되어 있습니다.

국제 기관

양자 기술의 군사적 또는 기타 응용 분야를 모니터링하거나 규제하기 위한 공식적인 이니셔티브가 있는 주요 국제 기관은 없습니다.

의회에 대한 잠재적 질문

- 양자 기술의 군사적 응용의 성숙도가 현재의 자금 수준을 보장할 수 있을까요? 상용 양자 기술의 발전이 군사적 응용에 어느 정도까지 활용될 수 있을까요?
- 양자 내성 암호화를 개발하고 현재 방법으로 암호화된 데이터를 보호하기 위한 적절한 조치가 취해지고 있나요?
- 양자 기술의 군사적 응용을 개발하려는 미국의 경쟁국들의 노력은 얼마나 성숙해졌을까요? 그러한 노력이 잠수함이나 5세대 스텔스 항공기 같은 미국의 첨단 군사 능력을 어느 정도까지 위협할 수 있을까요?

전쟁 수행을 위한 신형 기술의 잠재적 영향

전쟁 수행과 전략적 안정성에 대한 신형 기술의 영향은 다음과 같은 여러 요인의 함수에 따라 달라지기 때문에 불가능하지는 않더라도 예측하기 어렵습니다.

¹⁷² 엘사 B. 카니아, 존 코스텔로, *양자 헤게모니? 중국의 야망과 미국 혁신 리더십에 대한 도전*, 14쪽. 이 지상파 네트워크는 "베이징 동쪽과 중국과 카자흐스탄 국경에서 불과 수백 킬로미터 떨어진 두 관측소 사이에 2,600km[1,600마일]에 걸쳐 있는" 위성 링크를 제공하는 Micius와 연결되어 있는 것으로 알려졌습니다. Hamish Johnston, "양자 암호화 네트워크는 중국에서 4600km에 걸쳐 있다.", *Physics World*, 2021년 1월 7일, <https://physicsworld.com/a/quantum-cryptography-network-spans-4600-km-in-china/> 참조.

¹⁷³ 퀴린 쉬에르마이어, "러시아, 양자 꿈을 현실로 만들기 위한 경쟁에 합류하다", *Nature*, 2019년 12월 17일, <https://www.nature.com/articles/d41586-019-03855-z>.

¹⁷⁴ 이에 비해 2018년 12월에 법으로 제정된 미국 국가 양자 이니셔티브 법(P.L. 115-368)에 따르면 미국은 5년 동안 양자 연구에 12억 5천만 달러를 투자하기로 약속하고 있습니다.

미국과 경쟁국 모두의 기술 발전, 신형 기술이 기존 군사력과 작전 개념에 통합되는 방식, 신형 기술 간의 상호 작용, 국가 정책과 국제법이 개발, 통합 및 사용을 가능하게 하거나 억제하는 정도 등을 고려해야 합니다.

그럼에도 불구하고 많은 신기술은 미래 전쟁의 성격에 잠재적으로 영향을 미칠 수 있는 특징을 보입니다. 예를 들어, AI, 빅데이터 분석, 치명적인 자율 무기 등의 기술 개발로 인해 인간 운용자의 필요성이 줄어들거나 없어질 수 있습니다. 이는 결과적으로 전투 효율성을 높이고 전투 속도를 가속화할 수 있으며, 이는 잠재적으로 불안정한 결과를 초래할 수 있습니다.

저비용 드론과 같은 새로운 기술은 미군이 전통적으로 의존해 온 질과 양, 그리고 공격과 방어 사이의 균형을 바꿀 수 있습니다. 예를 들어, 조율된 무인 차량의 무리는 방어 시스템을 압도하여 공격자에게 더 큰 이점을 제공할 수 있으며, 이러한 공격을 무력화할 수 있는 저비용 수단을 제공하는 지향성 에너지 무기는 방어자에게 유리할 수 있습니다. 따라서 새로운 기술은 향후 수십 년 동안 공격과 방어의 균형을 여러 번 바꿀 수 있습니다.

새로운 기술 간의 상호 작용은 기존의 군사 능력을 향상시키거나 새로운 능력을 가능하게 할 수 있으며, 전쟁과 전략적 안정성에 예상치 못한 결과를 초래할 수도 있습니다. 예를 들어, AI와 같은 기술은 양자 컴퓨팅과 결합하여 더욱 강력한 머신 러닝 방법을 생성함으로써 이미지 인식과 표적 식별을 개선하고 더욱 정교한 자율 무기를 구현할 수 있습니다.

마찬가지로 AI는 5G 통신 기술과 결합하여 가상 훈련 환경을 구현하거나 '뇌-컴퓨터 인터페이스'에서 생명공학 기술과 결합하여 인간의 인지능력을 향상시키거나 보철 또는 로봇 시스템을 제어할 수 있습니다.¹⁷⁵ 이러한 발전은 결국 새로운 전략, 전술, 작전 개념을 필요로 할 수 있습니다.¹⁷⁶

새로운 군사 기술, 특히 AI 및 LAWS와 같은 복잡한 시스템은 예상대로 작동하지 않을 경우 의도하지 않은 결과를 초래할 수 있습니다. 이러한 결과는 시스템 고장부터 무력 충돌 법 위반에 이르기까지 다양합니다. 분석가 폴 샐레는 "가장 극단적인 경우 자율 무기가 탄창을 모두 소진할 때까지 부적절한 표적과 계속 교전할 수 있으며, 이는 광범위한 지역에 걸쳐 발생할 수 있다"고 지적했습니다.¹⁷⁷ 이는 결국 대량 학살이나 민간인 사상자를 초래할 수 있으며, 이 때문에 일부 분석가들은 자율무기를 선제적으로 금지해야 한다고 주장하고 있습니다.

마지막으로, 새로운 군사 기술은 다양한 윤리적 고려 사항을 제기할 수 있습니다. 예를 들어, 일부 분석가들은 무기를 합법적으로 사용할 수 있는지 여부와 관계없이 인간 운영자가 구체적인 표적 선택과 교전 결정을 내리지 않기 때문에 LAWS의 사용은 본질적으로 비도덕적이라고 주장했습니다.¹⁷⁸ 다른 사람들은 인간 운영자가 "무기를 사용하는 데 있어 적절한 수준의 인간적 판단을 계속 행사할 것"이라고 반박했습니다.

¹⁷⁵ 5G의 군사적 응용에 대한 자세한 내용은 CRS 인포커스 IF11251, *5세대(5G) 모바일 기술의 국가 안보적 함의*, 존 R. 혼과 켈리 M. 세일러의 글을 참조하세요.

¹⁷⁶ 역지력, 위기 안정성, 군사 태세, 군의 역할과 임무에 대한 영향을 포함하여 이러한 영향과 기타 군사 및 안보적 영향에 대한 논의는 로버트 워크와 손 브림리, *20YY: 로봇 시대의 전쟁 준비*, 새로운 미국 세기를 위한 센터, 2014년 1월 22일, 31-35쪽, <https://www.cnas.org/> 출판물/보고서/20yy-전쟁-준비-로봇-시대에서 참조.

¹⁷⁷ 폴 샤레, "자율 무기와 작전 위험", 새로운 미국 안보 센터, 2016년 2월, https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS_Autonomous-weapons-operational-risk.pdf.

¹⁷⁸ 예를 들어 보니 도처티, *Heed the Call* 참조: *살인 로봇을 금지해야 하는 도덕적, 법적 의무*, 휴먼라이츠워치, 2018년 8월 21일, <https://www.hrw.org/report/2018/08/21/heed-call/moral-and-legal-imperative-ban-killer-robots> 참조.

무력"을 금지하고 무력 사용의 배치가 무력 분쟁법의 요건을 준수하도록 보장할 책임이 있습니다.¹⁷⁹ LAWS의 선제적 금지를 지지하는 사람들은 1899년 헤이그 협약 전문에 명시되어 있으며 무기 사용이 "인류애의 원칙과 공공의 양심의 명령"에 따라야 한다고 명시된 마텐스 조항을 추가로 호소하고 있습니다.¹⁸⁰ 그러나 다른 분석가들은 마르텐스 조항이 무기 시스템을 금지하는 데 사용된 적이 없으며, 더 나아가 마르텐스 조항의 법적 지위가 의심스럽고 "단지 '국제 관습법'을 인정하는 것에 불과하다"고 지적했습니다.¹⁸¹ 마찬가지로 일부 분석가들은 표적 유전자 공격에 사용될 수 있는 생명공학의 무기화뿐만 아니라 인간 실험이나 변형을 수반하는 생명공학 기술의 응용에 대한 윤리적 우려를 제기했습니다.¹⁸²

의회 관련 이슈

의회는 이전에 기술별 활동을 넘어 신형 군사 기술에 대한 감독을 수행하는 데 관심을 보여 왔습니다. 2019 회계연도 NDAA(P.L. 115-232) 247조에서 의회는 "신형 기술 분야에서 미국의 역량과 미국의 적국의 역량을 직접 비교하는 일련의 기밀 보고서"를 지정했습니다.¹⁸³ 이러한 분야에는 극초음속 무기, 인공지능, 양자 기술, 지향성 에너지 무기 및 국방부 장관이 판단하는 기타 관련 기술이 포함됩니다. 마찬가지로, 2022 회계연도 NDAA(P.L. 117-81) 제1251조는 국방부 연구 및 엔지니어링 차관에게 순평가국 국장과 협력하여 지향성 에너지 무기, 극초음속 무기, 생명공학 및 양자 기술과 같은 신형 기술을 "개발 및 배치하기 위한 미국 정부와 중화 인민 공화국 정부의 노력에 대한 비교 분석 평가를 수행"하도록 지시하고 있습니다. 2019 회계연도 NDAA 225조는 또한 국방부 연구 및 엔지니어링 차관에게 "미국 적국의 기술 개발에 대응하거나 국방부의 적절한 연구 자금이나 관심을 받지 못하는 중대하고 긴급한 신형 기술에 대응하기 위해 긴급히 필요한 기술"을 개발하기 위한 절차를 수립하는 임무를 추가로 부여했습니다.

또한 2020 회계연도 NDAA(P.L. 116-92) 232조는 국방부 장관에게 "다음과 관련된 국방부 정책을 보장하기 위한 프로세스"를 개발하도록 위임했습니다.

¹⁷⁹ 국방부 훈령 3000.09, "무기 체계의 자율성", 2017년 5월 8일 업데이트, <https://www.esd.whs>.

¹⁸⁰ 예를 들어, 보니 도처티, *Heed the Call* 참조: *살인 로봇을 금지해야 하는 도덕적, 법적 의무*, 휴먼라이츠워치, 2018년 8월 21일, <https://www.hrw.org/report/2018/08/21/heed-call/moral-and-legal-imperative-ban-killer-robots> 참조.

¹⁸¹ 폴 샬레, *아무도 없는 군대: 자율 무기와 전쟁의 미래* (뉴욕: W.W. Norton & Company, 2018), 263-266쪽.

¹⁸² 생명공학과 관련된 윤리적 고려사항에 대한 보다 심층적인 논의는 CRS 보고서 R44824, *첨단 유전자 편집을 참조하세요: CRISPR-Cas9*, Marcy E. Gallo 외, 참조: Elsa Kania와 Wilson VornDick, "중국의 군사 생명공학 프론티어" 참조: CRISPR, 군사-민간 융합, 그리고 군사 문제의 새로운 혁명," *The Jamestown Foundation*, 2019년 10월 8일, <https://jamestown.org/program/chinas-military-biotech-frontier-crispr-military-civil-fusion-and-the-new-revolution-in->

military-affairs/.

¹⁸³ 각 보고서에는 다음 요소가 포함되어야 합니다: "(1) 해당 기술에 대한 미국과 적국의 지출 평가, (2) 해당 기술에 대한 연구의 양과 질 평가, (3) 해당 기술을 지원하는 테스트 인프라 및 인력 평가, (4) 해당 기술에 대한 미국과 적국의 기술 발전 평가, (5) 해당 기술의 작전 배치 일정에 대한 설명, [6] (7) 적국의 해당 기술 사용 의도 또는 의지에 대한 평가."

신기술이 개발됨에 따라 지속적으로 공식화되고 업데이트됩니다."¹⁸⁴ , 2021 회계연도 NDAA(P.L. 116-283) 236조는 장관에게 신기술 및 국가 안보 위협에 대한 평가와 전략을 개발하는 임무를 맡은 운영위원회를 설립할 수 있는 권한을 부여했습니다.

의회는 연례 승인 및 세출 과정에서 새로운 군사 기술에 대한 국방부의 계획을 계속 검토하면서 자금 고려 사항, 관리, 인사, 획득, 기술 보호, 거버넌스 및 규제, 감독과 관련된 문제를 고려할 수 있습니다.

펀딩 고려 사항

극초음속 무기와 지향성 에너지 무기를 비롯한 여러 신형 군사 기술은 수년 동안 자금의 변동을 경험했습니다. 방위 산업 기반에 관한 미국 정부 부처 간 태스크포스에 따르면, 이러한 "변동은 숙련된 인력을 고용 및 유지하고, 생산 효율성을 달성하며, 경우에 따라 사업을 유지하는 능력을 약화시킴으로써 산업 기반 내 공급업체의 생존 가능성에 도전합니다."¹⁸⁵ 다른 분석가들은 이러한 변동이 기술 투자 우선순위 간의 불가피한 트레이드 오프 또는 특정 기술의 실현 가능성 또는 성숙도에 대한 의문으로 인해 발생하는 경우가 많다고 지적했습니다.¹⁸⁶

일부 분석가들은 기술적 놀라움의 가능성을 고려할 때 전반적인 연구 개발에 대한 자금이 충분하지 않다고 제안했습니다. 이러한 견해를 요약하면, 기술 전문가인 마르테인 라서는 "다음 혁신이 어디에서 나올지 모르기 때문에" 특정 기술에 대한 "큰 베팅" 또는 막대한 투자를 위해 전반적인 연구 개발을 줄이는 것은 위험한 접근 방식이 될 수 있다고 지적합니다.¹⁸⁷

관리

일반적으로 국방부는 앞서 언급한 각 신형 군사 기술을 개별적으로 관리하는데, 이는 각기 다른 전문성이 필요하기 때문입니다. 예를 들어, 국방부 연구 및 엔지니어링 차관실(USD[R&E])/최고 기술책임자(CTO)에는 인공지능 및 자율성, 극초음속 무기, 지향성 에너지, 생명공학, 양자 기술 등의 기술 분야에 대한 책임자가 별도로 있습니다. 이러한 각 기술의 개발은 독립적인 기술 로드맵과 인공지능의 경우 기밀 전략에 따라 진행됩니다. 미국 국방부(R&E)/CTO가 새로운 군사 기술을 감독하고 있지만

¹⁸⁴ 제232조는 "국방부 장관이 양자 컴퓨팅, 대규모의 다양한 데이터 분석 기술('빅 데이터 분석'으로 통칭), 인공 지능, 자율 기술, 로봇 공학, 지향성 에너지, 극초음속, 생명 공학 및 기타 국방부 장관이 식별할 수 있는 기술을 포함하여 신형 개발 단계에 있다고 판단하는 기술"을 신형 기술이라고 정의합니다.

¹⁸⁵ 행정명령 13806의 이행을 위한 기관 간 태스크포스, *미국의 제조 및 방위 산업 기반과 공급망 회복력 평가 및 강화*

, 2018년 9월, 21페이지, <https://media.defense.gov/2018/Oct/05/2002048904/-1/-1/1/ASSESSING-AND-STRENGTHENING-THE-manuvering-and%20defense-industrial-base-and-supply-chain-resilience.pdf>에서 확인할 수 있습니다.

¹⁸⁶ 예를 들어, 아리엘 로빈슨, "지향성 에너지 무기: Will They Ever Be Ready?", *National Defense*, July 1, 2015, <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2015/7/1/2015july-directed-energy-weapons-will-they-ever-be-ready>.

¹⁸⁷ 예를 들어, Will Knight, "트럼프, 연구비 삭감 대신 AI 예산 증액 제안", *Wired*, 2020년 2월 11일, <https://www.wired.com/story/trump-proposes-cut-research-spending-boost-ai/> 참조. 국방부 R&D 자금에 대한 논의를 포함하여 연방 R&D 자금에 대한 자세한 내용은 CRS 보고서 R46341, *연방 연구 및 개발(R&D) 자금을 참조하십시오: FY2021*, John F. Sargent Jr.

기술에 대해 일부 분석가들은 이러한 기술이 어떻게 결합되고 통합될 수 있는지를 더 잘 고려하는 포트폴리오 관리에 대한 보다 총체적인 접근 방식이 필요하다고 제안했습니다.¹⁸⁸

또한 2022년 5월 이전에는 이 보고서에서 논의된 기술을 포함하여 "국방 전략에 명시된 현대화 우선순위에 대한 역량 분석 및 투자 관리를 담당하는" 단일 현대화 책임자를 통해 이러한 주요 책임자가 USD(R&E)/CTO에 보고했습니다.¹⁸⁹ 2022년 5월, 국방부는 USD(R&E)/CTO 사무실을 개편하여 AI 및 자율성 담당 국장을 포함한 '구현 기술'과 지향성 에너지 및 극초음속 무기 담당 국장을 포함한 '응용 기술'에 대한 별도의 보고 구조를 만들었습니다(그림 2 참조). 구현 기술 및 응용 기술 담당 이사는 핵심 기술 담당 부 CTO에게 보고합니다. 이와 대조적으로 생명공학 및 양자 과학 담당 책임자는 과학기술미래국장을 통해 다른 부차관보, 즉 과학기술 담당 부차관보에게 보고합니다.¹⁹⁰ 의회는 이러한 조직 변화가 신형 기술의 감독과 통합에 어떤 영향을 미치는지 고려할 수 있습니다.

마지막으로, 고위 지도자들은 노력과 자금의 측면에서 새로운 군사 기술의 우선순위에 항상 동의하는 것은 아니며, 이러한 우선순위는 자주 바뀔 수 있습니다. 이러한 변동으로 인해 일부 분석가들은 국방부가 "개별 리더보다 오래 지속될 수 있는 지출 우선순위를 설정하기 위해" 기술 전략을 채택해야 한다고 제안했습니다.¹⁹¹

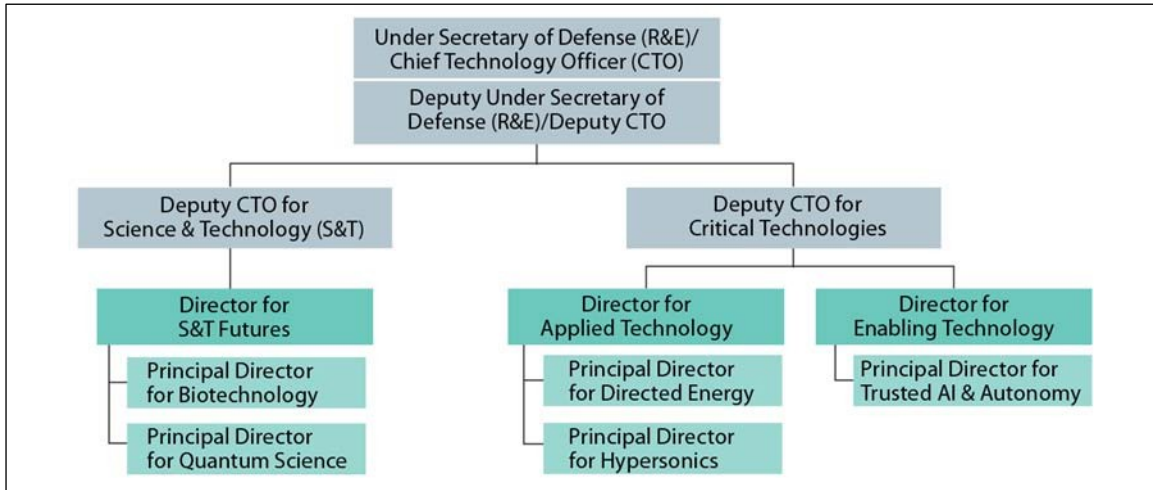
¹⁸⁸ 예를 들어, 미국 회계감사원, *무기 체계 획득* 참조: 국방부의 포트폴리오 관리를 개선할 수 있는 기회가 존재한다, 2015년 8월, <https://www.gao.gov/assets/680/672205.pdf>; 피트 모딜리아니, *이혼 이후: 국방부가 새로운 획득 시대에 속도, 민첩성 및 혁신을 위해 포지셔닝하는 방법*, MITRE, 2019년 3월, <https://www.mitre.org/sites/default/files/publications/pr-18-03404-3-after-the-divorce-white-paper.pdf>에서 확인할 수 있습니다.

¹⁸⁹ CRS In Focus IF10834, *국방 입문서: 국방부 연구 및 엔지니어링 담당 차관보*, Marcy E. Gallo 저.

¹⁹⁰ 국방부, "연구 및 공학을 위한 국방부 차관실 조직 개선," 2022년 5월 10일,
<https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3026367/organizational-improvements-to-the-office-of-the-under-secretary-of-defense-for> 참조.

¹⁹¹ 폴 샬레와 아이니키 리이코넨, "국방부는 진정한 기술 전략이 필요하다", *Defense One*, 2020년 4월 21일,
<https://www.defenseone.com/ideas/2020/04/pentagon-needs-technology-strategy/164764/>.

그림 2. 국방부 연구 및 엔지니어링(R&E) 차관실의 선택적 보고 구조



출처: 출처: https://www.cto.mil/wp-content/uploads/2022/05/usdre_org_chart_09may2022_distro_a.pdf에서 각색한 CRS 이미지.

참고: 도표는 이 보고서에서 논의된 기술과 관련된 OUSD(R&E) 주요 책임자에 대한 보고 구조만 나타낸 것입니다. 전체 OUSD(R&E) 조직도는 "국방부 연구 및 엔지니어링 조직 차관실", 2022년 5월 9일, https://www.cto.mil/wp-content/uploads/2022/05/usdre_org_chart_09may2022_distro_a.pdf에서 확인할 수 있습니다.

인사

일부 보고서에 따르면 국방부와 방위 산업은 연구 자금과 급여가 민간 기업에 비해 현저히 뒤쳐지기 때문에 신형 기술에 대한 전문성을 갖춘 인력을 채용하고 유지하는 데 어려움을 겪고 있습니다.¹⁹² 다른 보고서에서는 이러한 어려움이 삶의 질적 요인뿐만 아니라 "정부 내부보다 정부 외부에서 대규모 변화를 더 빠르고 더 잘 달성할 수 있다"는 많은 기술 종사자들의 믿음에서 비롯된 것이라고 지적합니다.¹⁹³ 국방부는 상근 인력을 훈련하고 교육하는 데 있어 추가적인 과제에 직면해 있습니다. 이러한 과제를 해결하기 위한 권장 사항으로는 사관학교의 기술 교육 기회 확대, 국방부와 연구 대학 간의 파트너십 강화, 기술 직원을 위한 정부 펠로우십 및 고속 승진 트랙 신설, 인사팀의 기술 이해력 향상 등이 있습니다.¹⁹⁴

¹⁹² M.L. 커밍스, "인공 지능과 전쟁의 미래", *채텀 하우스*, 2017년 1월, 11쪽, <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2017-01-26-artificial-intelligence-future-warfare-cummings-final.pdf>에서 확인.

¹⁹³ 에이미 제가트 및 케빈 차일즈, "실리콘밸리와 워싱턴의 분열은 국가 안보 위협", *The Atlantic*, 2018년 12월 13일, <https://www.theatlantic.com/ideas/archive/2018/12/growing-gulf-between-silicon-valley-and-washington/577963/>에서 확인할 수 있습니다.

¹⁹⁴ 국방과학위원회, *양자 기술의 응용* 참조: 요약본, 인공지능에 관한 국가안보위원회, 1분기 권고사항, 2020년 3월, 21-43쪽, <https://drive.google.com/file/d/1wkPh8Gb5drBrKBg6OhGu5oNaTEERbKss/view>; 에이미 제가트, 케빈 차일즈, "실리콘밸리와 워싱턴의 격차" 참조. 예를 들어, 국방부는 극초음속 연구 및 인력 개발을 위한 대학 컨소시엄을 설립하고 있으며, 국방 디지털 서비스는 현재 상업 기술 종사자를 위한 1~2년짜리 과제를 제공하고 있습니다. 마찬가지로 국가 안보 혁신 네트워크는 미국 정부에 기술자를 채용하기 위한 모델과 경로를 만들고자 합니다.

획득

국방부는 AI와 같이 빠르게 진화하는 이중 용도 기술을 고려하기 위해 획득 프로세스를 계속 조정해야 할 수도 있습니다.¹⁹⁵ 예를 들어, 2017년 이 프로세스에 대한 내부 연구에 따르면 정보 기술 프로그램이 시스템의 요구 사항을 정의하는 초기 대안 분석에서 초기 운영 능력으로 전환하는데 평균 81개월이 걸리는 것으로 나타났습니다.¹⁹⁶ 이와 대조적으로, 민간 기업은 일반적으로 소프트웨어 시스템(예: AI 기능 관련 시스템)에 대해 반복적인 개발 프로세스를 실행하여 6~9개월 내에 초기 제품을 납품합니다.¹⁹⁷ 이러한 발견으로 인해 국방부는 "획득 모델을 간소화하여 전투원/최종 사용자에게 적합한 일정에 맞춰 소프트웨어 역량을 지속적으로 통합하고 제공할 수 있도록" 하기 위한 임시 소프트웨어 획득 정책을 발표하게 되었습니다.¹⁹⁸ 다른 새로운 군사 기술에도 유사한 노력이 필요할 수 있습니다.

또한 신형 기술 혁신의 선두에 서 있는 민간 기업은 국방 획득 프로세스의 복잡성 때문에 국방부와의 협력을 꺼릴 수 있습니다. 이 문제에 대한 미국 회계감사원(GAO)의 연구에 따르면 국방부와 거래하지 않기로 결정한 12개 미국 민간 기업 중 12개 기업 모두 국방 획득 프로세스의 복잡성을 결정의 근거로 꼽은 것으로 나타났습니다.¹⁹⁹ 국방부는 번거로운 프로세스를 간소화하고 획득 일정을 앞당기기 위해 전략 역량 사무소, 국방 혁신 부서, 프로젝트 메이븐 등 신속한 획득을 위한 여러 가지 방법을 마련했습니다.²⁰⁰ 예를 들어, 프로젝트 메이븐은 2017년 4월에 설립되었으며, 12월에는 상업적으로 획득한 프로토타입 AI 시스템을 전투에 투입했습니다.²⁰¹ 일부 분석가들은 이러한 성과가 유망한 발전이라고 주장하지만, 비평가들은 국방부가 이러한 성과를 대규모로 복제하고 보다 포괄적인 획득 개혁을 시행해야 한다고 지적합니다.²⁰²

¹⁹⁵ 앤드류 일라친스키, *인공지능, 로봇, 그리고 군집: 쟁점, 질문 및 권장 연구*, 해군 분석 센터, 2017년 1월, 190-191쪽. 최근의 획득 개혁 노력에 대한 개요는 CRS 보고서 R45068, *2016 회계연도~2018 회계연도 국방수권법(NDAA)의 획득 개혁*, Heidi M. Peters를 참조하세요.

¹⁹⁶ 앤드류 일라친스키, *AI, 로봇, 그리고 군집: 이슈, 질문 및 권장 연구*, 189페이지.

¹⁹⁷ 국방과학위원회, "국방 시스템용 소프트웨어의 설계 및 획득," 2018년 2월, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1048883.pdf>. 또한 국방혁신위원회, *소프트웨어는 끝이 없습니다: 경쟁 우위를 위한 획득 코드 리팩토링*, 2019년 5월 3일, https://media.defense.gov/2019/Apr/30/2002124828/-1/-1/0/소프트웨어는_결코_끝나지_않는다_경쟁우위를_위한_획득_코드_리팩토링_핀_알.스왑.보고서.PDF에서 확인할 수 있습니다.

¹⁹⁸ 국방부 획득 및 유지 차관실, "소프트웨어 획득 경로 임시 정책 및 절차," 2020년 1월 3일, [https://www.acq.osd.mil/ac/assets/docs/USA002825-19%20서명%20메모%20\(소프트웨어\).pdf](https://www.acq.osd.mil/ac/assets/docs/USA002825-19%20서명%20메모%20(소프트웨어).pdf)에서 확인할 수 있습니다.

¹⁹⁹ 미국 회계감사원, *군사 획득, 국방부는 특정 기업이 직면한 문제를 해결하기 위한 조치를 취하고 있습니다*, GAO-17-644, 2017년 7월 20일, 9페이지. 불안정한 예산 환경, 긴 계약 기간, 정부별 계약 조건, 경험이 부족한 국방부 계약 인력 등이 다른 이유로 꼽혔습니다.

²⁰⁰ 특정 상황에서 국방부는 연구, 시제품 제작 및 생산을 가속화하기 위해 기타 거래 승인 기관(OTA)을 사용할 수도 있습니다. OTA에 대한 자세한 내용은 CRS 보고서 R45521, *국방부의 기타 거래 권한 사용을 참조하십시오: 배경, 분석 및 의회에 대한 쟁점*(Heidi M. Peters 작성)을 참조하세요.

²⁰¹ Marcus Weisgerber, "국방부의 새로운 인공 지능은 이미 테러리스트를 사냥하고 있다", *Defense One*, 2017년 12월 21일, <http://www.defenseone.com/technology/2017/12/pentagons-new-artificial-intelligence-already-hunting-terrorists/144742/>에서 확인.

²⁰² 앤드류 일라친스키, *인공지능, 로봇, 그리고 군집: 이슈, 질문 및 권장 연구*, 해군 분석 센터, 2017년 1월, 190페이지.

지적 재산

상업 기술 기업은 지적 재산권 및 데이터 권리에 대한 우려로 인해 국방부와 협력하기를 꺼리는 경우가 많습니다.²⁰³ 군사 획득의 광범위한 과제에 대한 2017년 GAO 보고서를 위해 인터뷰한 한 관계자는 지적 재산은 상업 기술 회사의 "생명선"이라고 언급했지만, "국방부는 제한적이거나 제한된 권리보다는 무제한의 기술 데이터 및 소프트웨어 권리 또는 정부 목적 권리를 부여하도록 기업에 더 많은 압력을 가하고 있습니다."라고 지적했습니다.²⁰⁴ 이러한 우려를 관리하기 위해 국방부는 "IP의 취득, 라이선스 및 관리에 대한 정책을 수립하고 책임을 할당하며 절차를 규정"하는 지침을 발표했습니다.²⁰⁵ 이 지침은 또한 IP와 관련된 문제에 대해 획득 인력을 조언하고 지원하기 위해 국방부 IP 간부를 설립하고 각 획득 프로그램에 대해 "IP 및 관련 문제의 전체 스펙트럼을 식별하고 관리"하기 위한 IP 전략을 개발할 것을 촉구합니다.²⁰⁶

공급망 보안

최근 여러 보고서에서 신흥 군사 기술에 대한 미국 공급망의 보안에 대한 우려가 제기되었습니다. 예를 들어, 한 평가에서는 중국이 미국의 저급 공급업체에 노출될 가능성이 있기 때문에 "산업 스파이 활동, 기술 이전 또는 신뢰할 수 없는 부품 제공을 통해 극초음속기 개발을 위태롭게 할 수 있다"는 사실을 발견했습니다.²⁰⁷ 마찬가지로 인공 지능에 관한 국가 안보위원회는 "미국은 인공 지능을 구현하는 데 필요한 마이크로 전자 장치를 생산, 통합, 조립 및 테스트할 수 있는 국내 시설이 부족"하며, 이로 인해 "미국은 생산을 위해 외국 제조 및 복잡한 글로벌 공급망에 의존"해야 한다는 사실을 발견했습니다.²⁰⁸

기술 보호

신흥 군사 기술 및 관련 지적 재산의 도난과 몰수를 포함하여 "미국 산업계가 도난과 몰수로 인해 [매년] 6,000억 달러 이상의 손실을 보고 있다"는 추정이 있습니다.²⁰⁹ 미국은 이 문제를 해결하기 위해 여러 가지 프로그램을 운영하고 있습니다. 예를 들어, 2018년 외국인 투자 위험 검토 현대화 법(FIRRMA)에 따라 미국 외국인투자위원회(CFIUS)는 "신흥 및 기초 기술"과 관련된 투자를 포함하여 특정 외국인 투자를 검토합니다. 또한 FIRRMA는 "해당 거래가 다음 사항에 영향을 미칠 수 있는 중요 기술 또는 중요 인프라를 획득하려는 전략적 목표를 입증하거나 선언한 특별 우려 대상 국가와 관련되어 있는지 여부"를 고려할 수 있도록 CFIUS에 권한을 부여했습니다.

²⁰³ 미국 정부 회계 책임실, *군사 획득, 국방부는 특정 기업이 직면한 문제를 해결하기 위한 조치를 취하고 있습니다.*

²⁰⁴ Ibid., p. 20.

²⁰⁵ 국방부 획득 및 유지 차관실, "국방부 지침 5010.44 지적 재산권(IP) 획득 및 라이선싱," 2019년 10월 16일, <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issués/dodi/501044p.PDF?ver=2019-10-16-144448-070>에서 확인할 수 있습니다.

²⁰⁶ Ibid., 8-11쪽.

²⁰⁷ 고비니, *2020 연방 스코어카드: 고강도 전쟁 에디션*, p. 67, <https://www.govini.com/wp-content/uploads/2020/06/Govini-2020-Federal-Scorecard.pdf>에서 확인할 수 있습니다.

²⁰⁸ 인공 지능에 관한 국가 안보 위원회, *1분기 권고 사항*, 46페이지.

²⁰⁹ 국방부 장관실, "중요 기술 보호 태스크포스 설립에 관한 각서," 2018년 10월 24일, https://insidecybersecurity.com/sites/insidecybersecurity.com/files/documents/2018/nov/cs2018_0459.pdf에서 확인할 수 있습니다.

국가 안보와 관련된 분야에서 미국의 리더십."²¹⁰ 마찬가지로 국방부의 중요 기술 보호 태스크포스는 "기밀 정보, 통제된 비기밀 정보 및 주요 데이터"의 도난으로부터 대학, 연구소 및 미국 방위 산업 기지를 보호하는 데 도움을 줍니다.²¹¹ 이러한 노력의 일환으로 태스크포스는 중소기업을 위한 사이버 보안 교육 프로그램을 마련하고, 공급망 취약성에 대한 국방부의 이해를 높이며, 2019 회계연도 NDAA 1049조에 명시된 대로 국가 안보에 중요한 기술의 우선순위 목록을 개발하는 등 다양한 활동을 추진할 계획입니다.²¹² 일부 분석가들은 기술 보호 노력을 미국의 동맹국 및 파트너까지 확대할 것을 권고했습니다.²¹³

거버넌스 및 규정

당시 국가정보국 국장이었던 다니엘 코츠는 "기술 발전이 규제를 앞지를 가능성이 높으며, 이로 인해 미국의 이익에 반하는 국제 규범이 만들어지고 기술 서프라이즈의 가능성이 높아질 수 있다"고 지적한 바 있습니다.²¹⁴ 이러한 우려를 해결하기 위해 일부 분석가들은 "미국은 신형 기술, 규범 및 표준 설정에 대한 협력을 진전시키기 위해 광범위하고 지속적인 외교적 관여를 수행해야 한다"고 주장하고 있습니다.²¹⁵ 마찬가지로 2021 회계연도 NDAA의 섹션 9414는 국립표준기술 연구소 소장에게 국제 표준 제정 조직에서 중국의 역할을 평가하고 중국의 영향력을 완화하고 이러한 조직에 대한 미국의 참여를 강화하기 위한 권장 사항을 제공하는 연구를 감독하도록 지시하고 있습니다.

감독²¹⁶

의회가 새로운 군사 기술에 대한 감독을 수행함에 따라 복잡하고 이질적인 기술 분야를 독립적으로 평가하고 평가하는 능력에 어려움을 겪을 수 있습니다. 1972년 의회는 기술 평가 사무소(OTA)를 설립하여 전문가에게 "평가, 배경 문서, 기술 문서, 사례 연구 및 워크숍"을 제공했습니다.

²¹⁰ "신형 및 기초 기술"에 해당하는 특정 기술은 상무부가 주도하는 기관 간 프로세스를 통해 식별되어야 합니다. P.L. 115-232, Title XVII, §1702(c)를 참조하십시오. FIRRMA에 대한 자세한 내용은 CRS Focus IF10952, *FIRRMA에 따른 CFIUS 개혁*(James K. Jackson 및 Cathleen D. Cimino-Isaacs 작성)을 참조하십시오. 인공지능에 관한 국가 안보 위원회를 포함한 일부 단체는 미국 정부가 "특정 품목의 잠재적 최종 용도 및 최종 사용자에 대한 더 엄격한 조사"와 같은 추가적인 기술 보호 조치를 고려해야 한다고 주장했습니다. 인공지능에 관한 국가안보위원회, *중간 보고서*, 2019년 11월, 42페이지, <https://drive.google.com/file/d/153OrxnuGEjsUvIxWsFYauslwNeCEkvUb/view>에서 참조.

²¹¹ 국방부 장관실, "중요 기술 보호 태스크포스 설립에 관한 각서".

²¹² C. 토드 로페즈, "태스크 포스, 기술 도용을 억제하여 연합군을 강력하게 유지", 국방부 뉴스, 2019년 11월 26일, <https://www.defense.gov/Explore/News/Article/Article/2027555/task-force-curbs-technology-theft-to-keep-joint->

force-strong)에서 확인할 수 있습니다.

²¹³ 예를 들어 다니엘 클리먼, 벤 피츠제럴드, 크리스틴 리, 조슈아 핏, *동맹 혁신 기반 구축*, 새로운 미국 안보 센터, 2020년 3월, <https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS-Report-Alliance-Innovation-Base-Final.pdf?mtime=20200329174909> 참조.

²¹⁴ 다니엘 R. 코츠, "기록에 대한 진술: 미국 정보 커뮤니티의 전 세계 위협 평가", 미국 상원 군사위원회 증언, 2018년 3월 6일.

²¹⁵ 사무엘 J. 브래넨, 크리스티안 S. 하이그, 캐서린 슈미트, 캐슬린 H. 히스, *트윈 필러: 국가 안보와 신형 기술 거버넌스에서의 국가 혁신 유지*, 전략 및 국제 연구 센터, 2020년 1월, https://csis-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/200123_Brannen_TwinPillars_WEB_FINAL.pdf?elJUpAKOjVauOujYfnvuSGDK0xvsQGZF에서 확인할 수 있습니다.

²¹⁶ 의회의 기술 감독과 관련된 문제에 대한 전체 논의는 CRS 보고서 R46327, *기술 평가 사무소를 참조하십시오: 역사, 권한, 쟁점 및 옵션*, John F. Sargent Jr.

절차"를 통해 의회의 의사 결정과 입법 활동에 정보를 제공했습니다.²¹⁷ 의회는 정부 규모를 줄이기 위한 광범위한 노력의 일환으로 1995년 OTA에 대한 예산을 없앴습니다.²¹⁸ 그 이후로 의회는 OTA 또는 유사한 기술 평가 기관의 필요성에 대해 계속 논의해 왔습니다.²¹⁹

작성자 정보

켈리 M. 세일러

첨단 기술 및 글로벌 보안 분석가

면책 조항

이 문서는 미국 의회조사국(CRS)에서 작성했습니다. CRS는 의회 위원회와 의원을 위한 초당파적 공동 직원 역할을 합니다. 오직 의회의 요청과 지시에 따라 운영됩니다. CRS 보고서의 정보는 CRS의 제도적 역할과 관련하여 CRS가 국회의원에게 제공한 정보에 대한 대중의 이해 이외의 목적으로 의존해서는 안 됩니다. CRS 보고서는 미국 정부의 저작물로서 미국에서 저작권 보호의 대상이 아닙니다. CRS 보고서의 전체 내용은 CRS의 허가 없이 복제 및 배포할 수 있습니다. 그러나 CRS 보고서에는 제3자의 저작권이 있는 이미지 또는 자료가 포함될 수 있으므로 저작권이 있는 자료를 복사하거나 다른 방식으로 사용하려면 저작권 소유자의 허가를 받아야 할 수 있습니다.

²¹⁷ Ibid.

²¹⁸ Ibid.

²¹⁹ 107 -116th 의회의 OTA/기술 평가 관련 법안에 대한 개요는 CRS 보고서 R46327, *기술 평가 사무소의 부록 C*를 참조하십시오: *역사, 권한, 쟁점 및 옵션*, John F. Sargent Jr.