



융합연구리뷰

Convergence Research Review

융합기술

안티드론 및 사이버 전자전 등 드론 대응을 위한 융합기술 연구
손준영(부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수)

융합정책

융합연구 프로그램 Convergence Accelerator 사례와 시사점
미래융합전략센터 데이터분석팀

CONTENTS

01 편집자주

03 안티드론 및 사이버 전자전 등 드론 대응을 위한 융합기술 연구

27 융합연구 프로그램 Convergence Accelerator 사례와 시사점

융합연구리뷰

Convergence Research Review

2024 July Vol.10 No.07

발행일 2024년 7월 24일

발행인 임혜원

발행처 한국과학기술연구원 미래융합전략센터
02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
Tel. 02-958-4987 | <https://kist.re.kr/fcsc>

펴낸곳 공간기획 Tel. 044-863-0978

편집자주

미래 안보 환경의 선제적 대응책: 안티드론 융합기술

드론 기술이 급격히 발전하여 현대 전장에서 무기로 사용되는 사례가 증가하고 있다. 이러한 군사적 충돌에 무방비 상태로 놓인다면 국가의 안보는 크게 흔들릴 것이다.

기술의 융합은 드론 위협을 탐지하고 대응하는 데 있어 체계적인 해결책이 될 수 있다. 드론 대응을 위해서는 탐지/식별-분석-무력화-추적/조사 기술이 필요하며, 각 단계별 기술 요소들이 융합되어 실효적 결과를 산출할 수 있어야 한다.

본 호 기술리뷰에서는 안티드론 및 사이버 전자전 등 드론에 맞서는 융합기술을 다룬다. 미래 사회 우리 삶에 편리함을 가져올 드론이 위협 요소가 되지 않기 위해, 융합연구를 통한 효과적 대응이 필요한 시점이다.

미국 융합연구 프로그램 사례: 다양한 참여자들과 사회문제 해결에 집중하다.

미국 국립과학재단(NSF)의 Convergence Accelerator는 2019년부터 시작된 미국의 대표 융합연구 프로그램이다. 다학제를 기반으로 혁신적인 아이디어 공유와 사용자 중심 해결책을 이끌어, 융합연구 프로그램 대표 사례로 소개되고 있다.

본 호 정책리뷰에서는 Convergence Accelerator를 집중적으로 파고든다. 융합연구의 성장이라는 추진 배경부터 프로그램 모델, 다른 프로그램과 대비되는 Convergence Accelerator만의 차별성까지 분석하여, 융합연구 정책 및 사업 기획에 필요한 시사점을 얻고자 한다.

Convergence Accelerator는 학제간 협력 및 실용적이고 혁신적인 연구과제 수립 등의 요인이 결합하여 대표적인 융합연구 프로그램으로 거듭날 수 있었다. 우리나라도 학제간 협력을 촉진하기 위한 정책적 지원을 마련하고, 연구 주제 선정에 사회적 영향력 등을 주요 지침으로 고려해야 할 것이다.



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 July Vol. 10

No. 07



융합기술

안티드론 및 사이버 전자전 등 드론 대응을 위한 융합 기술 연구

손 준 영

부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수

안티드론 및 사이버 전자전 등 드론 대응을 위한 융합기술 연구

손준영 (부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수)

I. 필요성 및 기술 개발 관점

1. 드론의 위협 사례 증대

국제적 맥락에서 살상 및 전쟁 무기로서의 드론 활용 사례가 증가하고 있는 가운데, 국내에서도 북한의 드론이 수도권 상공을 침범하는 등의 사건이 잇따라 발생하고 있다.

그림 1. 국내·외 드론을 활용한 사회 안전 위협 사례

국내 드론 위협 사례

- 전국 원자력발전소 주변 불법비행 드론
- 수만 발 발 쏘는 '드론' 게이트릭 공격 현상 매해
- 서울시내 불법 비행 드론 활판이 용산서 적발... "보안책 시급"
- 드론 때문에 이륙 중단! 이번엔 영국 하스로 공항
- 인천공항에 뜬 불법 드론 항공기 5대 회항 소동
- 北 무인기에 우리 영공 뚫려, 군 100여 발 사격해도 격추 실패 (종합3보)
- 드론이 방에 실물도 못 건다

국외 드론 위협 사례

- 나토 6개국, '드론 공격' 새로운...러 위협에 '대응단결'
- 이스라엘군, 드론으로 팔레스타인 무장세력 표적 공습 3명 사망
- 미국, 이란 드론 격추 지원..바이든 "철통같이 방어"
- 美 CIA, 드론 공격으로 '빈라덴 추격자' 알카에다 수장 사살
- Ukraine War Shows the Need for Counter-UAS Systems Such as Flex Force's Dronebuster
- 일본 방위상 "공격형 무인기 적극 활용하겠다"
- 베네수엘라 대통령 대미 "드론으로 폭발 암살 기도"
- [G-Military] 살상무기 돌변 1000달러짜리 '코스토크 드론'...미군 골머리

* 출처: 국내외 언론 온라인 자료 재가공

이러한 사건들은 우리 사회 시스템의 보안 및 안전을 심각하게 위협하며, 드론에 대한 체계적 대응의 필요성을 강조하고 있다. 국내외 사례를 통해 볼 때, 중요시설에 대한 위협은 물론 일상 생활환경에서도 시민의 안전성에 대한 위해 가능성이 점차 확대되고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 미래에 우리 삶의 편의와 혁신을 촉진할 드론이 위협 요소로 전환될 가능성에 대비하여, 효과적인 대응 전략을 개발하는 것이 황급히 요구되고 있다.

2. 기술의 분류 및 개발 방향

2.1. 안티드론 기술

안티드론 기술의 분류는 표 1과 같으며, 이에 대해서 상세적으로 필요한 기술을 다시 정리하면, 탐지-분석-무력화-사고조사-관제/모니터링-검증/평가 기술이 필요하다.

표 1. 안티드론 기술 분류

대분류	중분류	소분류	기술 개념
식별 및 탐지 기술	탐지 센서	레이더	X-band(8~12GHz)와 Ku-band(12~18GHz)를 사용하여 탐지
		RF 스캐너	드론과 조종자간의 통신신호를 분석해 드론 탐지
		광학 카메라	광학 센서를 이용한 카메라를 사용하여 탐지
		IR 카메라	IR 센서를 이용한 카메라를 사용하여 탐지
		음향 센서	음향센서의 소음시차를 계산하여 위치를 파악
무력화 기술	Hard Kill	그물/네트 건	그물을 이용하여 불법 드론을 포획
		방공용 대공화기	대공포와 근거리 레이더를 결합하여 드론을 격추
		직사에너지무기 (Laser/RF Gun)	불법드론을 레이저와 RF가 장착된 Gun으로 격추
	Soft Kill	통신 재밍	전파를 방해하여 비행불능 상태로 전환
		위성항법재밍, 스푸핑	거짓 좌표를 주입해 비행불능 혹은 비행 경로 이탈
사고 조사 기술	라이브 포렌식 (사전)	정보 수집	신호를 실시간으로 추적하여, 정보를 수집하는 기술
		정보 분석	신속 분석, 정밀 분석, 모듈/플랫폼 단위별 비공개/공개 정보 분석
	포렌식 (사후)	드론	드론 및 조종기 등 사건 발생 기기를 확보하여 사고조사
		조정기	
	통합 기술	통합 제어/연동	지상기반 /공중기반
	통신	유/무선 통신	넓은 범위에 장비 연계 통신 기술
	검증/실증	시험/검증/실증	안티드론장비 영향성/실효성에 대한 시험/검증/실증

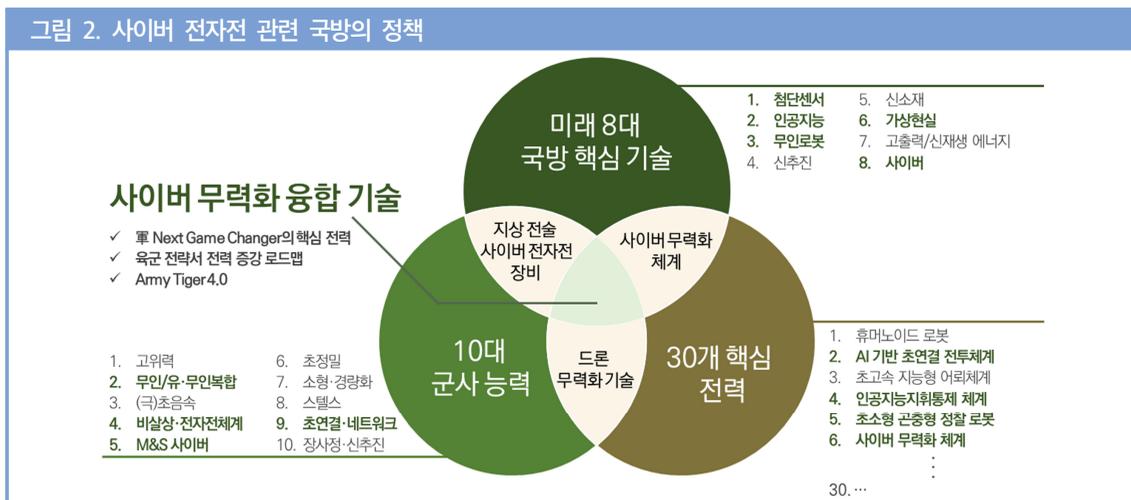
2.2. 사이버 전자전 기술

국방부는 최근 ‘국방 드론 발전전략’을 발표하면서, 다양한 분야에 드론을 적용할 계획을 수립하였고, 미래의 안보환경에 선제적으로 대응하기 위해 첨단 전력을 증강하겠다는 의지를 밝혔다. 각국의 군사적 드론 활용에 발맞춰, 드론에 대한 방어와 드론을 활용한 무력화 기술 개발의 필요성이 대두되고 있다. 합동참모본부는 30대 핵심전력 중 하나로 사이버 무력화 체계를 선정하여 이를 체계적으로 관리하고 있으며, 사이버 무력화 융합기술은 이와 같은 핵심기술에 해당된다. 이러한 기술을 기반으로 한 지상전술 사이버 전자전 장비는 육군 전략서의 전력 증강 로드맵과 Army Tiger 4.0에도 반영되어 있다. 육군의 ‘사이버 전자전 과학기술 그룹’은 사이버와 전자전이 통합된 무기체계로서 사이버 무력화 융합기술을 적용한 지상전술 사이버 전자전 장비를 육군의 Next Game Changer 핵심전력 중 하나로 선정하여 관리하고 있습니다. 또한 육군은 근거리에서 소형 드론을 제압할 수 있는 레이저 대공무기 개발 등 미래 드론전에 대비한 다양한 전략을 마련하고 있다. 사이버 무력화 기술의 중요성으로는 기술적 우위 확보, 전략적 가치, 혁신적인 무기체계로 구분할 수 있다.

- 기술적 우위 확보: 사이버 무력화 기술은 적의 소형 무인기 공격을 무력화하여 능동적으로 대응하는 한편, 역으로 적의 주요 사이버 자산을 무력화하는 데 활용
- 전략적 가치: 적의 사이버 공격을 무력화하는 방어적 측면과, 적의 중요시설을 무력화하는 공세적 측면을 모두 포괄하며, 추가적으로 정보 수집 등의 부가적 효과
- 혁신적인 무기체계: 사이버 무력화 기술은 사이버와 전자전을 결합한 기술로, 전술 제대에서 적의 무인기와 지휘통제망을 교란·마비시키는 혁신적인 무기체계

이와 같은 기술들은 미래 전장 환경에서의 군사적 우위를 확보하는 데 중요한 역할을 할 것입니다. 국방부와 육군은 이러한 첨단기술을 지속적으로 발전시키고 적용함으로써, 대한민국의 안보를 강화하고 미래 전투에서의 우위를 점할 수 있도록 노력하고 있다.

그림 2. 사이버 전자전 관련 국방의 정책



* 출처: 국방기술기획서 기반 저자 작성

2.3. 기술 개발 방향

안티드론 및 사이버 전자전 기술은 동일한 기술들이 적용된다. 드론 대응을 위해서는 탐지/식별-분석-무력화-추적/조사 기술이 필요하며, 하나의 드론에 실효적으로 대응하기 위해서는 필요한 기술 요소들 간의 융합연구가 필수적이다. 현재까지 시행되고 있는 관련 연구들은 제대로 된 융합연구를 하지는 않고 있다. 탐지/식별-분석-무력화-추적/조사를 위한 융합연구는 단순 각 단계별 결과 내용을 모니터하는 것이 아니라, 각 단계에서 활용된 데이터들이 융합되어 공동의 결과를 산출하는 데 연동되어야 한다. 여기서 데이터 융합의 방식과 과정에 대한 실효적인 연구가 필요하다.

그림 3. 드론 대응(안티드론/사이버 전자전) 기술에 필요한 기술 요소



* 출처: 저자 작성

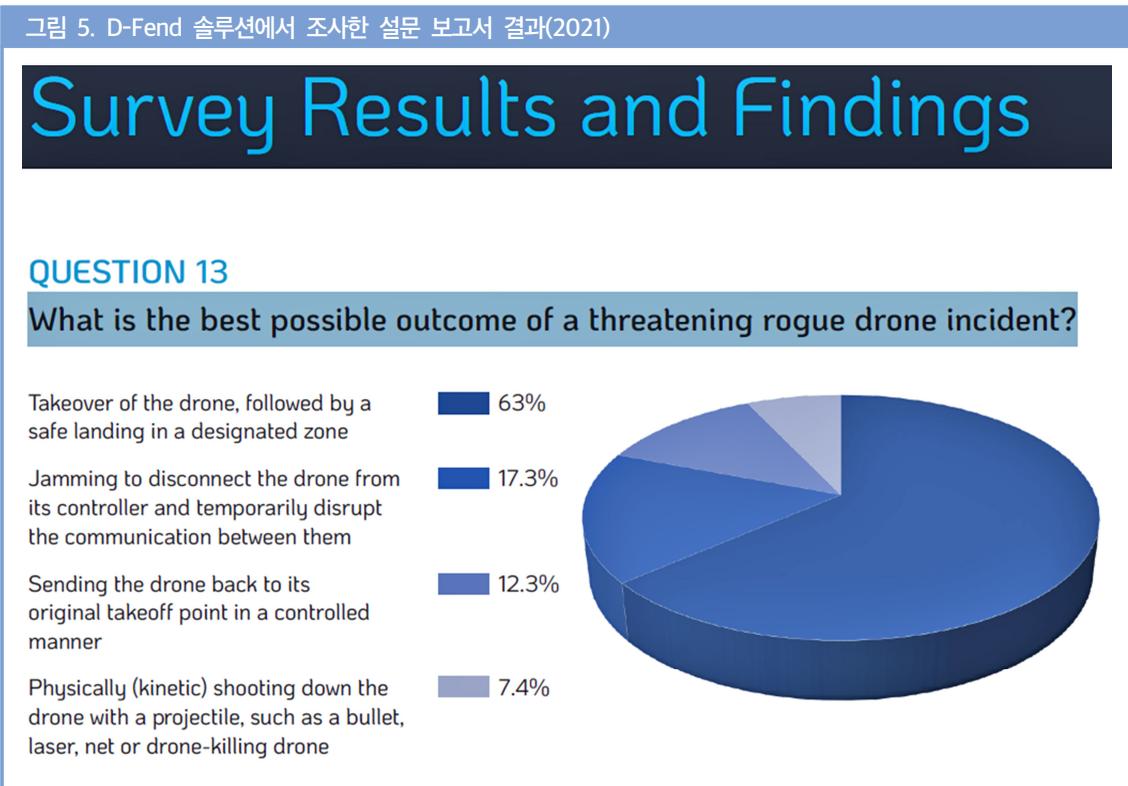
드론 대응 기술에 대해서 실효적인 측면과 사회 안전을 고려하였을 때, 다음과 같이 평화적인 무력화 대응, 대응 범위/타겟팅, 실효성, 과학 전문인력 양성, 대응 목적 분류 환경 특성을 고려해야 한다. 드론의 위협은 대한민국 수도권 상공 사건과 같이, 시민들 생활 속에 위협이 될 수 있으며, 이에 대한 실효적인 대응 기술이 현재 미흡한 실정이다. 하지만, 드론 대응에 가장 중요하게 고려해야 하는 사항이 사회 안전이다. 현재까지 소개되고 있는 여러 가지 드론 대응 기술들은 오히려, 드론에 대응하는 데 사용할 수 있는 경우도 있겠지만, 드론 대응 장비가 오히려 위협을 가할 수도 있는 상황이 생길 수 있다. 이에, 가장 실효적이고, 적용 가능 가능한 방안이 평화적인 무력화 기법이다. 그림 5 (이스라엘 D-Fend社에서 시행한 “Counter-Drone Discoveries (Survey and Market Report 2021)”)에 따르면, 피해를 최소화하기 위해서 제어권 탈취 및 안전지역으로 착지 등 지능형 무력화 방식이 가장 좋은 시도로 평가)에서도 알 수 있듯이, 전세계 드론 위협 대응 전문가들은 평화적인 무력화 방안이 실효적이고 추구해야 하는 목적이라고 설문조사에 답하였다.

그림 4. 드론 대응 기술 개발 고려 사항



* 출처: 저자 작성

그림 5. D-Fend 솔루션에서 조사한 설문 보고서 결과(2021)



* 출처: IDGA Counter-Drone Discoveries Survey and Market Report 2021

전 세계 드론의 종류는 자료 “전세계 주요 상용드론 목록” 이외 포함해서, 약 200가지가 있다. 이렇게 다양한 드론들은 각기 다른 구성품과 기술로 구성되어 있으며, 이를 대응하기 위해서는 개별 다른 기술들이 적용될 수 있으므로, 드론 대응을 위해서는 타겟팅하는 기술이 필수적이다. 하지만, 현재 국내 연구 방향은 소형 드론의 보편적인 적용 기술이 연구되고 있고, 각기 다른 부처별 비슷한 연구 내용을 비슷한 드론을 대상으로 비슷한 연구를 시행하고 있어, 실효성과 기술을 축적 부분에 아쉬운 부분들이 있다.

드론 위협은 대상 시설별로 공격의 목적이 다를 수 있다. 예를 들어 원자력발전소와 같은 중요시설은 고정되어 있는 시설이나 운영 인력을 대상으로 위협을 시행하여, 사회 안전에 위협을 목적으로 할 수 있고, 공항 등과 같은

경우에는 사람들이 모여 있는 비행기를 공격하는 인명 피해를 목적으로 할 수 있다. 각 시설별로 위협 목적이 달라, 요구되는 대응 기술도 차이가 있을 수 있다. 이에 대한 깊이 있는 분석과 연구가 필요하다.

드론 대응에 필수적인 융합연구와 실효적인 대응 기술은 고난이도의 기술 습득을 요구한다. 이에 대해서, 전문 인력을 육성하는 것은 필수적이며, 박사급 인력이 필요하고, 통신-사이버보안-시스템-AI-프로그래밍-알고리즘 등 컴퓨터 공학적인 전문성 육성이 필수적이다.

II. 연구 동향

1. 드론 대응 산업 시장 분석

국내·외적으로 드론 산업 육성이 정부 차원에서 지원되고 있으면 산업 시장도 성장하고 있다. 드론의 활용 기술이 증대되고 있으며, 이에 따른 드론을 활용한 위협 기술도 증대되고 있다. 이로 인한 드론 대응 시장도 커지고 있는 시점이다.



* 출처: 저자 작성

1.1. 해외 시장 분석

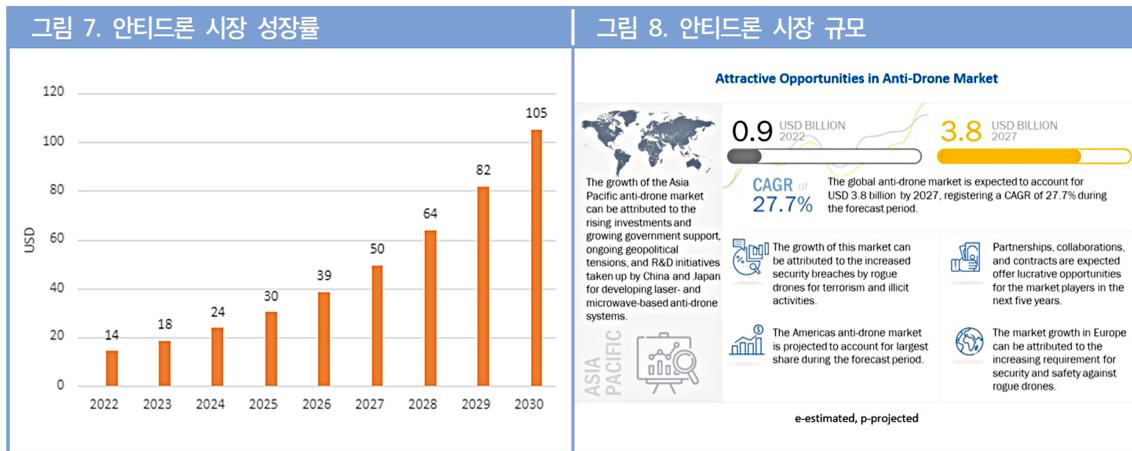
Grand View Research, Inc.의 안티드론 시스템 해외 시장 최신 자료에 의하면 2022년 14 억 달러(1.8조 원) 규모이며, 9년간(2022~2030) 연평균 약 28.3%로 가파른 성장률로 2030년에는 105억 달러(13.7조 원)에 이를 것으로 전망된다.

표 2. 해외 안티드론 산업 성장 예측 비교

기준연도	기준규모 (억달러)	예측 최종연도	예측규모 (억달러)	CAGR (%)
2022	14억 (1.8조 원)	2030	105억 (13.7조 원)	28.3

* 출처: Grand View Research Inc. (2022)

Market Research Report의 안티드론 관련 최신 자료에 의하면, 2022년 9억 USD인 글로벌 안티드론 시장은 5년간(2022-2027) 27.7%의 가파른 성장률로 2027년에는 38억 USD에 이를 것으로 전망된다.



* 출처: Grand View Research

* 출처: MARKET RESEARCH REPORT

Reports And Data의 안티드론 시스템 해외 시장 최신 자료에 의하면 2020년 6.42억 달러(0.7조 원) 규모이며, 9년간(2020-2028) 연평균 약 28.5%로 가파른 성장률로 2028년에는 46.04억 달러(5.2조 원)에 이를 것으로 전망된다.

표 3. 해외 안티드론 산업 성장 예측 비교

기준연도	기준규모 (억달러)	예측 최종연도	예측규모 (억달러)	CAGR(%)
2020	6.42 (0.7조 원)	2028	46.04억 (5.2조 원)	28.5

* 출처: REPORTS AND DATA (2021)

Drone Industry Insights의 안티드론 관련 최신 자료에 의하면, 2019년 12억 USD인 글로벌 안티드론 시장은 5년간(2019-2024) 41.1%의 가파른 성장률로 2024년에는 66억 USD에 이를 것으로 전망된다.

1.2. 국내·외 안티드론 시장 현황

국내 안티드론 시장은 현재 초기 단계에 있으며, 다양한 대학, 연구소, 기업이 기술 개발과 실증을 통해 초기

시장을 형성하고 있다. Drone Industry Insights의 최신 자료에 따르면, 2019년에 12억 달러였던 글로벌 안티드론 시장은 2019년부터 2024년까지 연평균 41.1%의 가파른 성장률을 기록하여 2024년에는 66억 달러에 이를 것으로 전망된다. Grand View Research의 조사에 따르면, 안티드론 시장은 2019년부터 2026년까지 연평균 29.9%의 성장률(CAGR)을 보여 2026년에는 약 45억 달러에 이를 것으로 예상된다. 국토 안보 분야의 전문기관인 Homeland Security Research Corporation에 따르면, 2018년부터 2023년까지 5년간 안티드론 시장은 연평균 37.2%의 성장률을 보일 것으로 전망된다. 과학기술기본법 제17조(협동 및 융합연구개발의 촉진)에 따라 안티드론 수출입 현황을 보면, 드론의 경우 카메라로 분류되어 한국과 미국 간 무관세 수출입이 가능하다. 그러나 안티드론의 경우, 수출입 체계가 정형화되어 있지 않다. 예를 들어, 영국 정부는 개트워 공항의 불법 드론 방호 체계를 구축하기 위해 이스라엘의 라파엘 사의 드론 돔(Drone Dome) 시스템을 수입하여 구축한 바 있다. 안티드론 장비는 일반적으로 군이나 경찰 등 특별한 보안이 필요한 곳에서 사용되므로, 국내에서도 최종 사용자가 합법적으로 사용할 수 있다는 증빙을 세관에 제출하면 수출입 통관이 가능하다.

1.3. 국내외 안티드론 기술 개발 현황

국내 안티드론 R&D 현황에서 국내 안티드론 기술은 대부분 지상기반으로 개발되었으며, 탐지·식별은 레이더, EO/IR, RF 스캐너 장비가 개발되었고, 무력화의 경우, 재머를 이용한 무력화 장비가 주로 개발되었다. 국외 안티드론 R&D 현황에서 국외 안티드론의 경우 지상기반 시스템뿐만 아니라 공중기반 시스템도 개발되었으며, 국내에 비하여 다양한 탐지/식별 및 무력화 장비가 개발되어 있다. 안티드론 관련 특허 현황에서 특허청에 따르면 드론 관련 국내 특허출원은 2013년 126건, 2014년 149건, 2016년 389건인 것에 비해 안티드론 특허출원 수는 매우 적은 편이다. 특히, 안티드론 관련 중 핵심기술인 드론 무력화 기술은 2016년까지 총 12건만 출원되어, 같은 기간 미국의 60건에 비하면 많이 부족한 상황이다.

2. 기술/연구 동향 분석

국내·외적으로 드론 대응에 대해서 탐지-식별-무력화 관점에서 기술 연구가 진행되고 있으나, 융합연구와 실효성, 안전성 관점에서 연구 결과물에 대한 신뢰성이 낮은 편이다. 이에, 국내·외 기술(산업) 동향과 연구 시사점을 살펴본다.

2.1. 해외 기술(산업) 동향

최근 대부분 신규 장비들은 탐지와 무력화를 복합한 시스템으로 기존 군용장비와 신기술을 접목시켜 개량한 제품들이 다수 점유하고 있다. 불법대응시스템을 통합해 SW플랫폼화한 장비들에 대한 요구가 미군을 중심으로 제기되고 있으며 방산대기업과 스타트업 등에서 개발 중이다. 전 세계적으로 약 250여개 기업에서 540여개 관련 안티드론 장비가 판매 중에 있으며, 탐지 전용장비가 33%, 무력화전용장비가 40%, 그리고 탐지와 제어 통합장비가 27%를 차지함. 최근 방산 업체는 5G, AI 등 다양한 최신기술을 적용한 한 단계 진보된 제품들을

출시하고 있고, 군집드론 대응 시스템을 개발 중이다.

탐지기술은 하나의 센서를 활용한 제품이 다수이고, 무력화기술은 소프트킬의 싱글재밍(RF와 GNSS방식 모두 포함) 방식이 시장의 대다수를 차지한다. (탐지기술) 하나의 센서를 활용하는 경우가 50%, 2~3개의 센서 복합 활용의 경우가 36%, 4~5개의 센서를 복합 활용하는 경우는 12%로 조사되었고, 센서의 종류로는 레이더, RF, 광학, IR 카메라가 각각 20%대로 고르게 분포한다. (무력화기술) 소프트킬이 85%로 대다수를 차지하였고 하드킬(Kinetic Attack) 중에는 그물을 이용한 시스템(8%), 레이저활용 시스템(5%), 드론을 활용한 불법드론 공격(2%) 순으로 분포한다.

각국의 안티드론 현황에서 미국 국방성은 2019년 안티드론 시스템을 구입했고, 기업은 AI 기술 등 첨단기술을 적용하여 기존 장비들이 보유하지 못한 기능을 앞세워 시장을 선도하고 있다. 미국 국방성은 2019년 불법드론대응시스템 구매에 약 9억 달러(1조 원) 가량을 사용한 것으로 추정된다. 반면에, 유럽은 전통적인 항공 분야 기술 강국으로 여러 회사가 안티드론 시스템 개발 중으로, 특히 영국 공군 Synergia는 민간업체와 협력하여 C-UAS 시스템 개발하고 있다. 영국 공군(RAF)의 Synergia*는 안티드론 개발업체인 Leonardo社와 협력하여 ORCUS 시스템을 개발하였고, 통합 감지부터 무력화까지의 테스트를 성공하였다. 중국은 드론 강국인 만큼 우수한 기술력을 바탕으로 안티드론을 제조하는 회사와 다수 상용 제품이 존재하고 레이저 기반 무기는 군사용으로 개발 중이다. 일본 방위성은 2021년부터 차량탐재형 안티드론 레이저를 개발 중이며 AI 기술 적용 등 국제 협력을 통해 제품을 개발 중이다. 차량 탐재형 레이저 개발을 위해 약 33억 엔(342억 원)을 투자하여 연구개발을 진행 중으로 장비에 사용되는 레이저, 탐지 및 추적 장치, 전원 공급 장치를 개발하였다. Toshiba社は 미국 Fortem Technologies社에 1,500만 달러(171억 원) 투자하고, 각 회사의 강점 기술 RF 감지 부분과 AI 기술이 결합된 안티드론 제품을 개발 예정이다.

표 4. 각국의 탐지 및 무력화 동향 비교

해외	탐지	무력화
미국	<ul style="list-style-type: none"> Numerica社は 3D레이더 기술과 AI 기술을 적용하여 3 km 반경의 사각지대까지 탐지 가능한 Spyglass를 개발 	<ul style="list-style-type: none"> EPIRUS社は 질화갈륨 증폭기를 개발하여 향상된 성능의 HPM(High Power Microwave)를 발사해 군집드론을 무력화시킬 수 있는 Leonidas 제품 개발
EU	<ul style="list-style-type: none"> Blighter社は 감도가 향상된 D3기술(Digital, Drone, Detection 기술)을 적용하여 탐지가 어려운 플라스틱 재질의 드론도 탐지가 가능한 A400 시리즈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 프랑스의 CERBAIR社は 맨팩 안테나를 적용한 휴대용 재밍 시스템을 개발하여, 불법드론의 출몰 방향과 무관하게 효과적인 대응 가능
중국	<ul style="list-style-type: none"> DJI社は UAV 통신 링크를 식별하여 비행 상태, 경로 및 기타 정보를 실시간으로 수집하는 탐지 시스템인 AeroScope를 개발 	<ul style="list-style-type: none"> Poly Technologies社は 차량 탐재형 레이저 방공 시스템인 Silent Hunter를 개발하여 4km 범위 내 불법드론의 무력화 가능

* 출처: KISTEP 기술동향브리프 (2021)

표 5. 기술 동향에 기술된 안티드론 제품 상세 소개

국가	제조사	제품명	탐지 방법	무력화 방법	플랫폼
미국	Numerica	Spyglass	3D 레이더	-	지상기반
	EPIRUS	Leonidas	-	고전력 극초단파	지상기반
영국	Blighter	A400	레이더	-	지상기반
프랑스	CERBAIR	CHimera	무지향성 안테나	RF/ GNSS	지상기반
중국	DJI	AeroScope	전자 신분증	-	지상기반
	Poly Techonogies	Silent Hunter	전기광학, 적외선	레이저	차량탑재

* 출처: KISTEP 기술동향브리프 (2021)

최신 국외 안티드론 제품 내용은 표 6과 같다.

표 6. 최신 안티드론 제품 상세 소개

국가	제조사	제품명	
Australia	DroneSec	DroneSploit	<ul style="list-style-type: none"> • sploitkit에 기반한 CLI 프레임워크 • 드론 해킹 기술과 익스플로잇
USA	DeepSig	OmniSIG	<ul style="list-style-type: none"> • 인공 지능(AI)을 이용한 RF 탐지 및 분류 • LTE, Wi-fi, WCDMA, Bluetooth, CDMA2K, ATSC, GSM, DMR, FM, DCS/DPL 등 • 다양한 영역에서 사용
Australia	Department13	Mesmer	<ul style="list-style-type: none"> • 불법 드론 탐지 및 무력화를 위한 SDR 기술을 기반으로 한 카운터 드론 기술 • 안티 드론을 탐지, 식별, 무력화 • 무력화시, 드론의 제어권을 탈취하여 지정된 장소의 착륙 또는 강제 착륙
Israel (네덜란드?)	D-Fend Solutions	EnforceAir	<ul style="list-style-type: none"> • 불법 드론을 자동 및 수동적으로 탐지, 위치 파악 및 식별하는 시스템 • 비재밍, 비동적 기술을 사용하여 드론을 통제하고 안전 구역에 안전하게 착륙
Israel	NSO Group	Eclipse	<ul style="list-style-type: none"> • 비인가 상업용 드론을 지정된 구역에 자동으로 탐지, 인계, 착륙

* 출처: DroneSploit, OmniSIG, Mesmer, EnforceAir, Eclipse

드론 대응 기술에 대한 현재 기술에 대한 단점은 표 7과 같다.

표 7. 드론 대응 기술 특징

기술분류	기술	특징(단점)
탐지	레이더 탐지	• 능동방식으로 X- 및 Ku-band 대역의 전파를 방사하여 반사파의 도달 소요시간, 안테나의 지향 특성 등을 분석해 드론의 위치(방위 및 거리)를 탐지
	RF 스캐너	• 드론과 조종자 간의 통신 주파수를 통해 신호를 분석하여 드론과 조종자의 위치를 탐지
	광학 카메라/적외선 카메라	• 고성능 광학 카메라로 드론을 직접 촬영하거나 모터나 엔진 등 드론에서 배출되는 열원을 적외선 카메라로 탐지
	음향센서	• 300m 내외의 근거리에서 여러 음향센서에 탐지된 드론 소음의 시차(TDoA)를 계산하여 드론의 정확한 위치를 탐지
무력화 (Hard Kill)	그물/드론 네트건, 멍금류	• 쿼드콥터형 드론을 포획할 때 가장 많이 사용되는 방법으로 그물을 발사하거나 검독수리 등 멍금류를 조련하여 드론을 포획
	방공망용 대공화기	• 테러·군사적 도발 드론 위협에 맞서 대공포나 미사일 시스템을 응용·개조하여 드론의 요격이 가능하나 고가이며 중·소형 저고도 드론에 제한적
	직사에너지무기	• 고에너지 레이저 집광으로 드론을 녹여 파괴하거나 고에너지 RF Gun 또는 EMP로 드론 내 전자 부품을 무력화
무력화 (Soft Kill)	통신재밍	• RF 스캐너를 통해서 드론이 사용하는 주파수를 파악하여 사용 통신 신호보다 더 강한 세기로 주파수의 전파를 발사해서 드론과 조종자의 통신을 무력화
	위성항법재밍/스푸핑	• 대부분 상업용 드론이 사용하는 위성항법(GNSS) 주파수(L1, 1.57GHz)를 교란하거나 가짜 위성항법 신호를 발사해서 드론을 나포·항로이탈 유도
	지오펜싱	• 위성항법을 활용하여 주요시설 지역을 금지구역으로 설정하고, 불법 드론 비행이 불가하도록 설정하는 기술
	조종권 탈취	• 소형드론들이 사용하는 MAVLink 통신규약을 변조하여 드론의 조종을 방해하거나 조종권한을 탈취하여 드론을 무력화
사고조사	라이브포렌식(사전)	• 드론의 신호를 실시간으로 수집하여 통신 증거 데이터 획득, 조종자 정보 추적, 불법드론 식별 등 사전 조사를 위한 기술
	포렌식(사후)	• 사고 발생 후 드론, 조종기 등 관련 기기를 확보하여 증거 데이터를 수집하고 수사 체계와 연계하기 위한 기술

* 출처: KISTEP 기술동향브리프 (2021)

2.2. 국내 기술(산업) 동향

국내에서는 인천공항을 선제적으로 중요시설에 대해서 안티드론 장비를 도입시키고 있으며, 이에 대한 정부의 지속적인 권고가 시행되고 있다. 이러한 대상 중요시설은 국내에서 약 378개가 될 수 있다. 그리고 “불법드론 지능형대응 기술개발”, “소형무인기 대응 체계사업”, “사이버 무력화 융합기술”, “레이저 대공무기”, “EMP 개발” 이외에도 많은 연구가 국내에서 시행되고 있다. 드론은 종류별로 기술이 다르고 대응 기술도 달리할 수 있어, 대응 드론 가능성에 대해서 국가적으로 관리를 해야 한다. 하지만, 본 국가 연구개발에서는 대응 가능한 드론 종류에 대한 관리가 되고 있지 않고, 해당 연구에서 유사한 연구와 유사한 대상 드론을 선정하고 있어, 연구 결과물과 연구 방향성에 대한 관리가 필수적이다. 해당 기술별 상이한 드론 재원에 대한 대상 드론을 나눈다면 전세계 약 200개 종류 대비 대응 가능 드론이 선별되고 국내 드론 대응 기술 방어력을 예측할 수 있다.

드론 대응 기술은 타겟팅 드론을 관리하는 것이 무엇보다 중요하면 실효적인 연구와 적용이 필수적이다. 이에 드론 대응 기술에 대한 기술 트리를 개발하고 적용해야 한다. 기술 트리는 현재 부산대에서 연구 개발하고 있으며,

표 8의 기술 트리를 더 수정 및 확장해 가고 있다. 드론 대응 기술은 소형 무인기에 대응한다는 추상적인 목적보다는 구체적인 대응 가능 드론과 드론별 기술 확보 현황을 분석 및 관리해야 한다. 아직 국내·외적으로 드론 대응 기술 트리에 대한 상세 연구가 진행되고 있지 않아, 기술 트리를 연구하여 논문을 작성 중이다.

표 8. 드론 대응 기술 트리

핵심기술	요소기술	요소기술의 세부내용(예시)
통합 안티드론 체계 및 시스템 개발	위협드론 통합 관리 및 관제 기술	안티드론 장비에서 탐지되는 위협드론 정보를 기반으로 통합적으로 관리(정보수집/제어) 및 관제(모니터링) 하는 기술
	안티드론 장비 연동 기술	안티드론 장비로부터 데이터를 수신하거나, 안티드론 장비를 제어하기 위한 연동 기술
	안티드론 장비 판단 알고리즘	위협드론에 따른 최적의 장비 선정을 위한 알고리즘을 설계 및 구현하는 기술
	안티드론 장비간 사설망 통신 및 보안 기술	특화통신 사설망을 이용한 통합관리 시스템 및 안티드론 장비간 보안 통신 기술
드론 무선 통신 취약점 분석	드론 텔레메트리 데이터 수집 기술	드론과 조종기가 주고받는 텔레메트리 데이터를 수집하는 기술
	드론 스트리밍 데이터 수집 기술	드론과 조종기가 주고받는 스트리밍 데이터를 수집하는 기술
	드론 제어 데이터 수집 기술	드론과 조종기가 주고받는 제어 명령 데이터를 수집하는 기술
	RF 통신 환경 정보(주파수 등) 수집 기술	다양한 무선 간섭 환경에서 드론의 RF 통신 스캐닝 및 무선 정보 수집 기술
	RF 무선정보 수집 기반 드론 무선 통신 방식 식별 기술	드론 RF 무선정보를 이용한 무선통신 방식 식별 기술
	드론 통신 단위별 통신 프로토콜 프로파일링 분석 기술	드론 통신 물리적 계층의 RF 정보 프로파일링 분석 기술
	네트워크 서비스 탐지 기술	임베디드 시스템의 사용하고 있는 네트워크 서비스를 탐지하는 기술
	네트워크 서비스 취약점 분석 기술	네트워크 서비스의 취약점을 분석하는 기술
	공개정보 기반 취약점 영향성 분석 기술	공개정보 취약점의 실사용 가능성을 분석하는 기술
	취약점 정보 데이터베이스(DB) 구축 기술	무려화 취약점에 대한 정보를 수집, 저장, 관리하는 데이터베이스 구축 기술
드론 무선 통신 프로토콜 분석	하드웨어 통신 모듈 분석 기술	하드웨어 통신 모듈을 분석하는 기술
	드론 내부 모듈간 통신 인터페이스 식별 및 프로토콜 분석 기술	드론 내부 모듈간의 주고받는 데이터를 분석하는 기술
	표준 무선 통신 프로토콜 탐지 기술	무선 프로토콜을 탐지/식별하고 분류하는 기술
	드론 통신 프로토콜 취약점 분석 기술	드론, 조종기간 통신 프로토콜의 취약점을 분석하는 기술
드론 무선 데이터 디코딩 및 복원	RF 프로토콜 보안 속성 분석 기술	RF 프로토콜에 적용된 보안 속성을 식별하는 기술
	드론 무선 통신 복호화 기술	드론의 송수신 데이터에 대한 암호화에 대응하기 위한 암호키 추출 및 복호화 기술
	드론 통신 I/Q 데이터 수집 및 전처리 기술	드론 무선 통신의 I/Q 데이터를 수집하고 전처리하는 기술
	드론 무선 통신 신호 처리 기술	드론 무선 통신의 신호를 처리하는 기술
	드론 무선 통신 주파수 추적 기술	드론 무선 통신의 주파수를 추적하는 기술
	무선 통신 채널 추정 기술	무선 통신상에서 사용되는 채널을 추정하는 기술
	드론 RF 신호 검파 기술	간섭 및 잡음이 있는 환경에서 RF 신호를 추출하기 위한 기술
	드론 무선 신호 복조 기술	무선 신호를 전송 매체 채널 특성에 맞게 복조하는 기술
드론 무선 신호 데이터 디코딩 기술	무선신호를 전송매체 특성에 맞게 디코딩하는 기술	
드론 손실 데이터 복구 기술	손실된 신호를 복구하는 기술	

핵심기술	요소기술	요소기술의 세부내용(예시)
비공개 프로토콜 취약점 분석 도구 개발	통신 RF 칩 분석 및 통신 스니핑 기술	RF 칩 분석 및 통신 신호 분석 기술
	통신 패킷 파서 개발 기술	통신 데이터 패킷의 구조를 파싱하는 도구를 개발하는 기술
	암호화 통신 데이터 복호화 기술	암호키를 찾아 암호화된 통신 데이터를 복호화하는 기술
	드론 통신 패킷 실시간 분석 기술	드론에서 발생하는 통신 패킷을 실시간으로 분석하는 기술
	비공개 통신 프로토콜 분석 환경 구축 기술	비공개 RF 칩의 송수신 신호 디백이를 위한 환경 구축 기술
	비공개 통신 프로토콜 분석 도구 개발 기술	펌웨어 취약점을 분석하는 도구를 개발하는 기술
	펌웨어 취약점 분석 도구 개발 기술	펌웨어 취약점을 분석하는 도구를 개발하는 기술
드론 분석 환경 구축	임베디드 정적 분석 환경 구축 기술	임베디드 시스템의 정적 분석 환경을 구축하는 기술
	임베디드 동적 분석 환경 구축 기술	임베디드 시스템의 동적 분석 환경을 구축하는 기술
	드론 펌웨어 논리적 획득 기술	논리적 접근 인터페이스를 찾아 펌웨어를 획득하는 기술
	드론 펌웨어 물리적 획득 기술	물리적 인터페이스를 찾아 펌웨어를 획득하는 기술
	펌웨어/이미지 마운트 기술	추출된 펌웨어 또는 이미지 파일을 분석하기 위해 마운트시키는 기술
	파일시스템 분석 기술	펌웨어/이미지 파일의 파일시스템을 분석하고 재구축하는 기술
	펌웨어 바이너리 분석 기술	펌웨어 내 바이너리 파일(ELF)을 역공학 하는 기술
	시스템 커널 영역 역공학 기술	임베디드 시스템의 커널영역을 역공학하는 기술
	시스템 사용자영역 역공학 기술	임베디드 시스템의 사용자 영역을 역공학하는 기술
	모바일 어플리케이션 분석 기술	모바일 어플리케이션을 역공학하는 기술
드론 공격 코드 생성	모바일 어플리케이션 안티 디버깅 분석 기술	안티디버깅이 적용된 모바일 또는 어플리케이션을 분석하는 기술
	바이너리 패킹 분석 기술	패킹된 바이너리를 언패킹하는 기술
	디버깅 탐지 루틴 우회 기술	디버깅 탐지 루틴을 분석하여 우회하는 기술
	코드 난독화 분석 기술	난독화가 적용된 코드를 분석하는 기술
	드론 펌웨어 암호 기법 분석 기술	펌웨어에 적용된 암호 기법을 분석하는 기술
	펌웨어 무결성, 인증 알고리즘 식별 기술	펌웨어에 적용된 무결성, 인증 알고리즘을 식별 및 분석하는 기술
	패스워드, 암호키 추출 기술	비휘발성 메모리에 저장된 패스워드나 암호키를 찾아 추출하는 기술
	패스워드 크랙 기술	크래킹하여 패스워드를 찾는 기술
	공개정보 기반 취약점 공격코드 개발 기술	공개정보를 활용하여 취약점을 식별하고 공격코드를 개발하는 기술
	로컬 시스템 사용자 권한 상승 기술	취약점을 활용해 로컬 시스템의 사용자 권한을 상승시키는 기술
	서비스 거부 공격 기술	시스템 서비스의 리소스 부족을 유발하여 오류를 일으키는 기술
	시스템 취약점 공격 코드 개발 기술	시스템 취약점의 공격코드를 개발하는 기술
	드론 네트워크 서비스 공격코드 개발 기술	드론 침투를 위한 네트워크 서비스 공격코드를 개발하는 기술
	코드 경량화 기술	저용량 메모리 상황 등 임베디드 환경을 고려한 코드 경량화 적용 기술
	멀티 아키텍처 바이너리 생성 기술	x86, x64, ARM, MIPS 등 멀티 아키텍처에서 활용가능한 코드 생성 기술
드론 맞춤형 코드 침투 기술	드론 환경에서 사용하기 위한 최적화된 코드 침투 기술	
드론 무선 통신 채널 침투 기술	드론과 조종기 간 통신 연결 채널에 접근하기 위한 침투 점점 분석 기술	
드론 네트워크 서비스 침투 기술	네트워크 취약점을 활용하여 드론 네트워크에 침투하는 기술	
드론 공격 코드 무선 침투	드론 통신 주파수 호핑 시퀀스 분석 기술	주파수 호핑에 대한 호핑 시퀀스를 추정하는 기술
	드론 바인딩 분석 기술	드론 바인딩 과정을 분석하는 기술
	드론 통신 동기화 기술	드론과 무력화기의 드론 통신 싱크를 맞추는 기술
	드론 네트워크 서비스 침투 기술	네트워크 취약점을 활용하여 드론 네트워크에 침투하는 기술
	드론 무선 통신 생성 기술	드론, 조종기간 무선 통신을 동일하게 생성하는 기술
	RF 신호 재전송 기술	RF 신호 재전송 공격 가능성을 분석하는 기술

핵심기술	요소기술	요소기술의 세부내용(예시)
드론 원격 제어권 장악	RF 신호 삽입 전송 기술	무선 Time Injection 전송 기술
	시스템 공격코드 침투 기술	시스템 공격코드를 침투시키는 기술
	드론 무선 통신 제어권 탈취 기술	드론 무선 통신의 제어권을 탈취하는 기술
	드론 통신 연결 해제 기술	드론, 조종기간의 통신 연결을 해제시키는 기술
드론 통신 프로토콜 기간	원격 코드 실행 기술	대상 시스템의 취약점을 활용해 원격으로 악성 코드를 실행하는 기술
	스푸핑을 활용한 드론 직접 제어 기술	제어권을 탈취하여 드론을 직접제어하는 기술
	스푸핑을 활용한 드론 간접제어 기술	제어권을 탈취하여 드론을 간접제어하는 기술
휴대형 도구 개발	드론 제재 알고리즘 설계 및 구현 기술	드론 기종별 최적 제재 알고리즘 설계 및 구현하는 기술
	저전력 송/수신 안테나 개발	저전력 송/수신 안테나를 개발하는 기술
	이동형 모듈 개발 기술	이동형 모듈을 개발하는 기술
	이동형 장비 개발 기술	이동형 장비의 프로토 타입을 개발하는 기술
차량탐재형 도구 개발	이동형 장비 경량화 제작 기술	이동형 장비를 경량화/소형화 하는 기술
	무선 통신 프로토콜 수집/발생 장치 개발 기술	사용환경을 고려하여 무선 프로토콜 수집 및 발생에 활용하기 위한 모듈 개발
	고감도 멀티대역 지원 안테나 기술	장거리 사이버 타겟의 신호까지 손실없이 수신하기 위한 안테나 기술
	다중 RF 통신 모듈 운용 기술	다양한 RF 통신 프로토콜의 데이터 처리 기술
	다중 RF 통신 데이터 처리 기술	다양한 RF 통신 프로토콜의 동시 인식 및 동조/복조 기술
	인공지능 기반 드론 탐지 기술	인공지능 기반 대일 1 판단을 고드론 탐지-식별-추적 기술 구현 기술
	드론 자동 추적 기술	레이더, 안테나 등 필요 장비의 성능을 향상시키기 위한 표적에 대한 자동 추적 기술
	장거리 무선 송수신 고출력 증폭 기술	데이터 전송을 위한 안테나 출력 제어 기술
	무선 공격 영향성 최소화 기술	무선 공격 영향성 평가를 통한 인명/시설 영향성 최소화
	고성능 무선 프로토콜 송수신 장비 개발 기술	고성능 무선 통신 프로토콜 송수신 장비 개발 기술
시험환경 개발	코드 검증 기술	코드 자체에 대한 버그 탐지 등 안정성 검증을 통해 신뢰성 향상 기술
	드론 무선 통신 프로토콜 분석 테스트베드 제작 기술	드론과 조종기간에 사용되는 무선 통신 프로토콜을 분석하기 위한 환경 구축 및 테스트베드 제작 기술
	공격코드 데이터베이스 구축 기술	드론 기종별 임무 수행 및 시험을 위한 공격코드 데이터베이스 구축 기술
	드론 제어를 위한 제어 명령 인터페이스 및 도구 개발 기술	드론 제어권한 획득 후 드론을 제어하기 위해서 제어 명령 인터페이스 및 도구 개발 기술
	맞춤형 송/수신 안테나 개발 기술	넓은 운용 범위에서 신뢰도 높은 맞춤형 송/수신 안테나 개발 기술
	드론 무력화 테스트베드 환경 구축 기술	드론 무력화를 시험하기 위한 테스트베드 환경 구축 기술
	SW 테스트베드 설계 기술	소프트웨어 개발 환경 제공 및 소프트웨어 기능, 성능, 시험결과 분석 기술
	테스트베드 요구분석 및 설계 기술	테스트베드 구축을 위한 요구사항 분석 및 장비, 네트워크, 소프트웨어 등의 설계 기술
	테스트베드 설치 및 시험 기술	테스트베드의 설계에 따른 실제 장비 및 소프트웨어 구축 및 동작 시험 기술
	성능시험 설계 기술	각 요소 기술별 시험 환경을 설계하는 기술
시험환경 개발	시험항목 도출 기술	성능시험을 위한 시험 시나리오 개발과 요구사항을 도출하고 각 요구사항 별 세부 시험 항목을 개발하는 기술
	시험 데이터 개발 기술	테스트베드를 실 체계 환경에서 모의하고 해당 환경에서 시험 데이터를 확보하는 기술

2.3. 국내·외 표준화 인증 및 정책 연구

유럽 민간항공전자장비 표준화 기구인 EUROCAE의 기존 WG73 (Unmanned Aircraft Systems)이 무인기의 운항안전을 위한 표준과 가이드선 문서를 개발하기 위해 2016년 9월 WG 105로 대체되었다. EUROCAE의 WG 105는 국제항공 표준개발기관들 중 유일하게 공식적으로 UTM관련 문서를 개발하는 유일한 활동이다. 국제표준화기구들이 UTM과 관련해 더딘 행보를 보이고 있는 것에 비해, 민간 부분에서는 발 빠른 행보를 보이고 있다. 2017년 1월, 세계 15개국의 민간단체 등의 참여로 UTM 관련 비영리 민간협회인 Global UTM Association(GUTMA)를 설립하였다. GUTMA는 각 국가에서 공통으로 활용 가능한 UTM의 핵심 공통 구성을 정의하고 각 회원의 소속 국가에서 이를 기반으로 국내 UTM 개발 구축을 진행하는 것을 목표로 한다. 2007년 결성된 JARUS(Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems)는 기존 유인기의 규정자료를 검토해 무인기와 연관된 위험분석 및 무인기 특성을 반영한 문서 초안을 생성하고, 각국의 인증당국이 자신의 실정에 부합하는 요구도를 만드는데 편리한 안내자료를 제공함으로써 무인기 규정과 관련한 각국의 노력이 중복되지 않게 한다. 현재 52개국의 감항 당국자들이 회원으로 참여하고 있으며, 7개의 분과로 구성되어 있다. 드론 국제표준 및 국제기구와 관련, 드론 관련 국제표준을 정립하고 있는 국제기구인 국제 민간 항공 기구(ICAO), 유럽항공안전청(EASA), 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 국제전기통신연합(ITU)가 존재한다. ICAO나 EASA는 기술기준 제정에 집중하는데 비해, ISO, IEC, ITU 등은 임의표준 국제표준기구이다. 국내에서도 국제드론표준산업협회, 한국정보통신기술협회에서 해당 역할을 진행하고 있다.

III. 시사점

드론 대응 기술은 국제기구와 세계 각국에서 필수적인 기술로 인정받고 있으며, 이를 위해 많은 연구와 투자가 이루어지고 있다. 국내에서도 상당한 R&D 예산을 투입하여 다양한 연구가 진행되고 있다. 그러나 중복된 연구 대상 및 기술, 핵심기술의 정의 및 축적 부족, 실효성의 부족, 연구 방향성 로드맵 부재, 정책 및 제도적 미비, 인재 육성의 부족 등으로 인해 실질적인 드론 대응력 확보에는 한계가 있다.

효과적인 드론 대응을 위해서는 앞서 언급한 기술 분류와 기술 트리에서 정의된 다양한 기술들을 융합하는 것이 필수적이다. 이러한 융합기술은 현재 연구 중이며, 시장에 적용되고 있는 바와 같이, 단순히 각 단계의 기술을 모니터링하고 판단하는 것으로 그치지 말고, 주요 변수와 데이터를 대응 알고리즘에 통합하여 실질적인 결과를 도출할 수 있어야 한다. 현재 이러한 연구는 아직 미흡한 상태이며, 앞으로의 드론 대응 연구는 이러한 융합적 접근을 핵심 전략으로 삼아야 할 것이다.

안전하고 효과적인 드론 대응을 위해 평화적인 무력화의 중요성이 강조되며, 이는 현재 국내 연구 과제에서도 다루어지고 있다. 그러나 국내 연구 결과물은 위협 드론이 강화된 암호화 기법을 사용할 경우 실효성이 떨어질 수 있다. 따라서 드론에 활용되는 암호화 기법에 대한 연구를 통해 현재 개발된 기술의 실효성을 정확히 평가하는 것이 중요하다. 또한, 기술 축적과 실효성 강화를 위해 국제기구와의 협력 체계 구축이 필요하다.

드론 대응 기술의 적용은 인명 피해나 파괴 등의 2차 피해를 초래할 수 있어 사회 안전에 악영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 미국에서는 드론 대응 기술을 시장에 바로 적용하기보다는, 전문가 중심으로 안전성과 실효성을 논의하고 검증하는 절차를 밟고 있다. 국내에서도 이러한 부분에 대한 개선이 필요하며, 기술 기반 전문가들의 깊은 고민과 노력이 필요하다. 이를 통해 국산 기술 기반의 드론 대응력 확보와 산업화 창출이 기대될 수 있을 것이다.



자료 / 전세계 주요 상용드론 목록

No.	제조사	제품명	국가	형태	최대 속도 (스펙기준)	최대 조종거리 (스펙기준)	무선 통신			
							블루투스	주파수	셀룰러	와이파이
1	Aero Systems	MicroB Bluebird	이스라엘	고정익	-	-	-	-	-	-
2	Aero Systems	SpyLite Bluebird	이스라엘	고정익	-	-	-	-	-	-
3	Aero Systems	WanderB Bluebird	이스라엘	고정익	-	-	-	-	-	-
4	Aerospace	US-1 Impossible	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
5	Aerospace	Vapor 15 Pulse	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
6	Aerospace	Vapor 55 Pulse	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
7	Airborne Drones	The Falcon	남아프리카 공화국	회전익	15 m/s	18 km	-	○	-	-
8	Airborne Drones	The Vanguard	남아프리카 공화국	회전익	18 m/s	35 km	○	○	-	○
9	Airobotics	Airobotics	이스라엘	회전익	-	-	-	-	-	-
10	Alaka'i	Skai	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
11	ARCHANGEL	MACRO DR1 (SPEKTRUM) 3"	미국	회전익	-	0.6 km	-	○	-	-
12	ARCHANGEL	MACRO DR1 (SPEKTRUM) 5"	미국	회전익	-	0.6 km	-	○	-	-
13	ARCHANGEL	MICRO DR1 (SPEKTRUM) 2"	미국	회전익	-	0.1 km	-	○	-	-
14	ARRIS	C250 V2	중국	회전익	-	0.9 km	-	○	-	-
15	ARRIS	X-Speed 250B	중국	회전익	-	1.5 km	-	○	-	-
16	ARRIS	X-Speed 280 V2	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
17	Atmos UAV	Marlyn	네덜란드	고정익	95 km/h	20 km	-	○	-	-
18	Autel Robotics	EVO	미국	회전익	20 m/s	7 km	-	○	-	-
19	Autel Robotics	X-STAR PREMIUM	미국	회전익	56 km/h	1.9 km	-	-	-	○
20	Bell	APT (Autonomous Pod Transport)	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
21	Bell	Nexus	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
22	BFight	210	중국	회전익	-	1 km	-	○	-	-
23	Blade	Inductrix BL BNF Basic	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
24	Bluebird Aero Systems	ThunderB	이스라엘	고정익	-	-	-	-	-	-
25	DBPOWER	MJX X400W	중국	회전익	8 km/h	0.1 km	-	-	-	○
26	Delair	UX11	프랑스	고정익	54 km/h	53 km	-	○	○	-
27	Diatone	2018 GT R530	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
28	Diatone	2019 GT-Rabbit R249	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
29	Diatone	Tyrant S 215	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
30	DJI	Inspire 2	중국	회전익	94 km/h	7 km	-	○	-	-

No.	제조사	제품명	국가	형태	최대 속도 (스펙기준)	최대 조종거리 (스펙기준)	무선 통신			
							블루투스	주파수	셀룰러	와이파이
31	DJI	Matrice 100	중국	회전익	79.2 km/h	-	-	○	-	-
32	DJI	Mavic Air	중국	회전익	68.4 km/h	4 km	-	○	-	○
33	DJI	Mavic Pro	중국	회전익	65 km/h	7 km	-	○	-	○
34	DJI	Mavic 2 Zoom	중국	회전익	72 km/h	8 km	-	○	-	○
35	DJI	Phantom 3	중국	회전익	57.6 km/h	4 km	-	○	-	○
36	DJI	Phantom 4	중국	회전익	72 km/h	5 km	-	○	-	○
37	DJI	Phantom 4 Pro Version 2.0	중국	회전익	50 km/h	7 km	-	○	-	○
38	DJI	Spark	중국	회전익	50 km/h	2 km	-	-	-	○
39	DJI	Storm	중국	회전익	60 km/h	2 km	-	○	-	-
40	DJI	Tello	중국	회전익	28.8 km/h	0.1 km	-	-	-	○
41	EACHINE	Wizard TS215	중국	회전익	144.8 km/h	-	-	○	-	-
42	EACHINE	Wizard X220S	중국	회전익	95 km/h	0.5 km	-	○	-	○
43	Elistair	Orion UAS	프랑스	회전익	-	0.1 km	-	○	○	○
44	Elroy Air	Chaparral	미국	고정익	-	-	-	-	-	-
45	EMAX	HAWK 5	미국	회전익	160.9 km/h	-	-	○	-	-
46	Fat Shark	Shark Quad	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
47	Fly Tech UAV	UAV Birdie	폴란드	고정익	-	-	-	-	-	-
48	Flyability	Elios 1	스위스	회전익	-	-	-	-	-	-
49	Flyability	Elios 2	스위스	회전익	-	-	-	-	-	-
50	Flytrex	m600	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
51	FuriBee	DarkMax 220	중국	회전익	160.9 km/h	0.6 km	-	○	-	-
52	FuriBee	Fuuton 200	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
53	FuriBee	X215 PRO	중국	회전익	130.4 km/h	-	-	○	-	-
54	Goolsky MJX	Bugs 6 (B6)	중국	회전익	50 km/h	0.3 km	-	○	-	-
55	Holy Stone	F181C	중국	회전익	-	0.2 km	-	-	-	-
56	Holy Stone	HS110D	중국	회전익	-	0.1 km	-	-	-	○
57	Holy Stone	HS160	중국	회전익	-	0.1 km	-	○	-	○
58	Holy Stone	HS170 Predator	중국	회전익	-	0.1 km	-	○	-	-
59	Holy Stone	HS200	중국	회전익	-	0.1 km	-	○	-	○
60	Holy Stone	HS230	중국	회전익	45 km/h	0.1 km	-	○	-	-
61	HOLYBRO	KOPIS 2 SE	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
62	Hoversurf	Formula	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
63	Hoversurf	S3 2019	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
64	Hubsan	H107D X4 FPV	중국	회전익	16.1 km/h	0.1 km	-	○	-	-
65	Hubsan	H122D X4 Storm	중국	회전익	36 km/h	0.1 km	-	○	-	○
66	Hubsan	X4 Air FPV (H501S)	중국	회전익	-	0.3 km	-	-	-	-
67	ImmersionRC	Vortex 180 Mini	중국	회전익	100 km/h	2 km	-	○	-	-
68	ImmersionRC	Vortex 250 Pro	중국	회전익	96.6 km/h	2 km	-	○	-	-

No.	제조사	제품명	국가	형태	최대 속도 (스펙기준)	최대 조종거리 (스펙기준)	무선 통신			
							블루투스	주파수	셀룰러	와이파이
69	Innoflight	Galaxy 950	호주	회전익	-	-	-	-	-	-
70	Innoflight	Stellar X1000	대만	회전익	-	-	-	-	-	-
71	InstantEye Robotics	Mk-2 Systems	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
72	InstantEye Robotics	Mk-3 Systems	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
73	KAISER BAAS	Seeker WiFi Drone	호주	회전익	18 km/h	-	-	-	-	○
74	Microdrones	md4-200	독일	회전익	8 m/s	-	-	○	-	-
75	Microdrones	md4-1000	독일	회전익	12 m/s	-	-	○	-	-
76	Microdrones	md4-3000	독일	회전익	20 m/s	-	-	○	-	-
77	Mugin UAV	Mugin 3m Plane UAV (T)H-tail platform	중국	고정익	-	-	-	-	-	-
78	Mugin UAV	Super Huge Mugin 4450mm (H)T-tail Plane	중국	고정익	170 km/h	-	-	-	-	-
79	Parrot	Anafi	프랑스	회전익	55 km/h	4 km	-	○	-	-
80	Parrot	AR 2.0	프랑스	회전익	40 km/h	0.1 km	-	○	-	-
81	Parrot	Bebop 2	프랑스	회전익	60 km/h	2 km	-	-	-	○
82	Parrot	Bebop 2 Power	프랑스	회전익	65 km/h	2 km	-	-	-	○
83	Parrot	Mambo Fly	프랑스	회전익	30 km/h	0.1 km	○	-	-	-
84	Percepto	Sparrow	이스라엘	회전익	-	-	-	-	-	-
85	PowerVision	PowerEgg	중국	회전익	46 km/h	5 km	-	○	-	-
86	PRODRONE	PD4-AW-AQ	일본	회전익	80 km/h	-	-	○	-	-
87	Propel	STAR WARS 74-Z Speeder Bike	미국	회전익	56.3 km/h	-	○	-	-	-
88	Propel	STAR WARS TIE Advanced X1	미국	회전익	56.3 km/h	-	○	-	-	-
89	Propel	STAR WARS T-65 X-WING Starfighter	미국	회전익	56.3 km/h	-	○	-	-	-
90	Pulse Aerospace	Vapor 35	미국	회전익	-	-	-	-	-	-
91	Remoking	RS6	중국	회전익	-	0.1 km	-	-	-	○
92	RISE	Vusion 250	미국	회전익	-	2 km	-	-	-	-
93	senseFly	Solar 360	스위스	고정익	-	-	-	-	-	-
94	Silent Falcon UAS Technologies	Silent Falcon	미국	고정익	-	-	-	-	-	-
95	Sky Sapience	HoverMast	이스라엘	회전익	-	-	-	-	-	-
96	Skydio	R1	미국	회전익	40.2 km/h	0.1 km	-	-	-	○
97	Sonic Modell	Skyhunter 1800mm	중국	고정익	-	-	-	-	-	-
98	Survey Copter	Aliaca	프랑스	고정익	-	-	-	-	-	-
99	Survey Copter	DVF 2000 ER	프랑스	고정익	-	-	-	-	-	-
100	Survey Copter	UAV Tracker 120	프랑스	고정익	-	-	-	-	-	-
101	SWAGTRON	SWAGDRONE 210-UP	미국	회전익	-	0.8 km	-	○	-	-
102	SwellPro	SplashDrone 3+	중국	회전익	-	-	-	-	-	-

No.	제조사	제품명	국가	형태	최대 속도 (스펙기준)	최대 조종거리 (스펙기준)	무선 통신			
							블루투스	주파수	셀룰러	와이파이
103	SwellPro	Spry	중국	회전익	-	-	-	-	-	-
104	SYMA	X20	중국	회전익	-	0.1 km	-	-	-	-
105	SYMA	X5A-1	중국	회전익	-	0.1 km	-	○	-	-
106	Tactical Robotics	Cormorant	이스라엘	회전익	-	-	-	-	-	-
107	Team BlackSheep	OBLIVION	중국	회전익	120 km/h	5 km	-	○	-	-
108	Team BlackSheep	TBS VENDETTA II	중국	회전익	110 km/h	3 km	-	○	-	○
109	Thread Systems	EOS mini-UAS	에스토니아	고정익	-	-	-	-	-	-
110	Thread Systems	EOS mini VTOL UAS	에스토니아	고정익	-	-	-	-	-	-
111	Thread Systems	KX-4 INTERCEPTOR	에스토니아	회전익	-	-	-	-	-	-
112	Thread Systems	KX-4 LE TITAN	에스토니아	회전익	-	-	-	-	-	-
113	Thread Systems	STREAM C UAS	에스토니아	고정익	-	-	-	-	-	-
114	Upair	One 4K	중국	회전익	14 m/s	0.6 km	-	-	-	-
115	UVify	Draco 4x4	미국	회전익	-	-	-	○	-	-
116	Volans-i	Voly C-10	미국	고정익	-	-	-	-	-	-
117	Volans-i	Voly C-20	미국	고정익	-	-	-	-	-	-
118	Volocopter	Volocopter 2X	독일	회전익	-	-	-	-	-	-
119	Walkera	F210	중국	회전익	80 km/h	0.8 km	-	-	-	-
120	Walkera	F210 3D	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
121	Walkera	Rodeo 110	중국	회전익	-	-	-	○	-	-
122	Walkera	VOYAGER 5	중국	회전익	-	5 km	-	-	-	○
123	XM2	XM2 Echo	호주	회전익	-	-	-	-	-	-
124	XM2	XM2 Sierra Ultra Heavy Lift Drone	호주	회전익	-	-	-	-	-	-
125	XM2	XM2 Tango Heavy Lift Drone	호주	회전익	-	-	-	-	-	-
126	XM2	XM2 Tango LITE FAA Compliant	호주	회전익	-	-	-	-	-	-
127	XSun	SolarXOne	프랑스	고정익	-	-	-	-	-	-
128	X-UAV	Skua FPV Plane EPO 2100mm	중국	고정익	-	-	-	-	-	○
129	X-UAV	Talon FPV V-tail Drone EPO 1718mm V2	중국	고정익	-	-	-	-	-	○
130	Yuneec	H520 SkyHopper	중국	회전익	-	-	-	-	-	-
131	Yuneec	Mantis Q	중국	회전익	70.8 km/h	1.5 km	-	○	-	-
132	Yuneec	Typhoon H	중국	회전익	70 km/h	1.6 km	-	○	-	-
133	Yuneec	Typhoon H Plus	중국	회전익	48 km/h	1.6 km	-	-	-	-
134	Yuneec	Typhoon H Pro	중국	회전익	48.3 km/h	1.6 km	-	○	-	-
135	Yuneec	Typhoon Q500 4K	중국	회전익	8 m/s	0.8 km	-	○	-	○
136	Zero Zero Robotics	Hover Camera Passport	중국	회전익	8 m/s	0.2 km	-	-	-	○

* 출처: 다부처공동기획 (2019)

저자소개 **손준영** (Son Jun Young)

• 학력

한국과학기술원 정보보호대학원 박사

• 경력

現) 부산대학교 교수

現) 육군본부 사이버작전센터 자문위원

現) IEC 국제표준협회 사이버보안 국제표준위원

現) 한국포렌식학회 연구이사

現) 공공안전통신망포럼 운영위원

前) 한국원자력연구원 선임연구원

前) 한국원자력안전기술원 선임연구원

前) 국가보안기술연구소 연구원

참고문헌

〈국내문헌〉

- 1) 국토교통부 (2020). 드론산업 육성정책 2.0
- 2) 국방기술진흥연구소 (2022). 사이버 무력화 융합기술 과제 공고문
- 3) 국방부 (2023). 국방혁신 4.0
- 4) 국방부 (2019). 국방개혁 2.0
- 5) 다부처공동기획 (2019). 국가주요기반시설 공격 드론에 대비한 지능형 드론감 기술개발 및 라이브 포렌식 적용 연구 공동기획연구
- 6) KISTEP 기술동향브리프 (2021). 안티드론 2021-10호.
- 7) 행정안전부, 국가핵심기반 지정 현황
- 8) 방사청, 국방기술기획서

〈국외 문헌〉

- 1) D-Fend Solution, IDGA Counter-Drone Discoveries Survey and Market Report 2021
- 2) DroneSploit : <https://github.com/dhondta/dronesexploit>
- 3) EnforceAir : <https://www.d-fendsolutions.com/enforceair/>https://www.dronivo.de/D-Fend-EnforceAir_1
- 4) Eclipse : <https://www.nsogroup.com/News/nso-group-launches-drone-defense-system-eclipse/>
- 5) Grand View Research Inc. (2022). Anti-drone Market Size Worth \$10.5 Billion By 2030 | CAGR 28.3%,
- 6) MESMER (2017). Anatomy-of-DJI-Drone-ID-Implementation
- 7) MESMER (2017). Anatomy-of-DJI-Drone-ID-Implementation
- 8) Mesmer : <https://department13.com/> , <https://www.youtube.com/watch?v=xrR7T9dOhQA>
- 9) OmniSIG : <https://www.deepsig.ai/omnisig>
- 10) REPORTS AND DATA (2021). Anti-Drone Systems Market Size, Share & Analysis, By Mode of Operation (Detection, Disruption, Both), By Platform Types (Ground-based, Hand-held, UAV-based), By End-Use (Military & Defense, Commercial, Homeland Security), By Region, Forecast To 2028.



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 July Vol. 10

No. 07



융합정책

융합연구 프로그램 Convergence Accelerator 사례와 시사점

미래융합전략센터 데이터분석팀

융합연구 프로그램

Convergence Accelerator

사례와 시사점

미래융합전략센터 데이터분석팀

“Convergence Accelerator는 NSF의 다른 프로그램과 현저히 다릅니다. 우리는 과학자들을 사회적 문제에 집중시킵니다. 더 이상 논문을 발표하고 학생을 배출하는 데에만 초점을 두지 않습니다. ... 사회를 위한 실제 성과를 창출하는 데 집중해야 합니다. ... 우리는 연구 초기 단계에 여러 분야와 여러 부문에 걸쳐 연구자들을 모아 모든 주요 이해 관계자의 목소리를 연구 과정의 초기에 들을 수 있습니다. 그런 방식으로 더 많은 사람에게 적절한 솔루션을 개발하고 있습니다.”

2024년 6월에 제작된 NSF 유튜브에서

(<https://www.youtube.com/watch?v=8BNc1d4WSdQ>)

I. 서론

미국 국립과학재단(이하 'NSF')의 Convergence Accelerator(이하 'CA')는 어떠한 이유로 융합연구 대표 프로그램 예시로서 정부 정책이나 정책 연구자료에 자주 등장하는 것일까? 2019년에 시작된 CA 프로그램의 다학제 연구팀은 혁신적인 아이디어 공유와 지속 가능한 해결책의 개발을 촉진하기 위해 융합연구 방법을 적극 활용한다. 다양한 전문 분야에 걸쳐 연구자, 실무자 및 이해관계자를 모음으로써 단일 분야로 해결할 수 없는 복잡한 사회 문제에 대한 사용자 중심의 해결책을 가속화한다. 한편 관련 문헌들을 살펴볼 때 'DCL', '트랙', '코호트', '피칭', '커리큘럼' 등 우리나라 R&D 과정에서 접하기 어려운 단어들도 자주 등장한다. 이는 우리나라와 다른 접근 방법으로 융합연구를 기획하고 지원한다는 의미로 볼 수 있다.

이 글의 목적은 대표적 융합연구 프로그램으로 인정받고 있는 CA의 사례를 조사하고 향후 융합연구개발 정책 및 사업에 참고할 수 있는 정책적 시사점을 찾는 것이다. 이를 위해 NSF에서 발행한 프로그램 안내서와 각종 보고서, 기타 정책 연구자료들을 대상으로 문헌조사를 수행하였다.

CA는 프로그램의 명칭에서도 확인할 수 있듯 미국의 대표 융합연구 프로그램이다. 융합연구 분야는 빠르게

변화하고 있기에, NSF의 최신 융합연구 추진 트렌드와 떠오르는 연구 분야를 파악하는 데 도움을 줄 수 있다. 해외 선진국의 융합연구 동향을 파악하고, 이를 바탕으로 차별화된 연구개발 전략을 수립하는 것은 국제 경쟁력 강화에 필수적이다. 성공적인 사례들을 통해 우리나라 연구개발 전략을 수립하는데 귀중한 정보를 제공할 수 있다. NSF CA는 이러한 점에서 중요한 자료를 제공한다.

II. 선행연구 검토 및 분석 틀

1. 선행연구 검토

CA가 2019년에 시작하였기 때문에 기술 정책이나 기술경영 분야에서 이에 대해 분석한 학술 연구가 거의 없는 상황이다. NSF가 공식적으로 발표한 프로그램 자료를 제외한, 연구 형식을 갖춘 2개의 문헌을 찾을 수 있다.

우선 Smith & Baru(2020)는 지속적인 효과를 창출하는 새로운 혁신 모델로서 CA를 규정하고 전반적인 프로그램의 개요와 특징을 설명하였다. 이 프로그램은 여러 조직의 팀이 프로젝트 목표를 향해 통합할 수 있도록 돕는 '커리큘럼'을 운영하고 있고, 사회를 위한 실효성(impact) 높은 솔루션을 제공한다는 점, 융합연구 육성 환경을 제공하는 혁신 프로세스 등이 NSF만의 독특한 융합 프로그램임을 강조하였다. CA는 융합연구를 통해 국가적 규모의 사회 문제를 해결하는 모델로서의 효용성을 언급하였다.

두 번째로 Baru et al.(2022)의 연구에서는 2019년과 2020년에 자금이 지원된 CA 프로그램과 초기 자금이 지원된 융합연구 주제 및 Track에 대해 설명하고 있다. CA를 연구자와 혁신가들에게 연구 결과를 사회를 변화시키는 가시적인 해결책으로 전환할 기회를 제공하는 특화 프로그램으로 소개하고 있다. 강도 높은 혁신 커리큘럼과 멘토링 프로그램을 통해 연구자들은 이 프로그램 참여 기반뿐만 아니라 본인 경력 전반에 걸쳐 유용한 기술과 경험을 얻는다. 거의 모든 트랙 및 NSF 자금 지원 프로젝트에서 인공지능 및 머신러닝 접근 방식과 방법이 필수적인 역할을 한다는 특징을 강조하였다.

Horizon 2020이나 Horizon Europe같이 장기간 다양한 국가의 참여로 운영되는 대규모 프로그램은 관련된 사례연구 및 실증분석 문헌이 적지 않다. 그러나 미국이라는 단일 국가에서 비교적 최근에 시작된 융합 프로그램이라는 점에서 아직은 선행 사례연구가 이루어지지 않고 있다. 따라서 유사 R&D 프로그램에 대한 사례연구에서 활용된 분석 틀을 참고로 하여 사례를 조사할 필요가 있다.

2. 사례분석 틀

이 글은 향후 융합연구 정책 기획이나 사업 운영에 참고가 될 수 있도록 아래 세 가지 질문에 대한 답을 구하면서 시사점을 얻고자 한다.

첫째, CA는 어떤 프로그램인가? 둘째, 이 프로그램의 구조와 절차는 융합연구 촉진의 관점에서 어떤 점에서 차별성이 있는가? 셋째, 어떤 융합연구 주제들을 선별·지원하고 있는가? 이러한 질문은 CA의 추진목적, 핵심주제, 핵심 내용 및 방법론 등을 세부적으로 파악할 수 있게 해준다.

III. Convergence Accelerator 프로그램

NSF 웹사이트에 게시된 CA 관련 자료를 기초로 추진 배경, 특징, 차별성 및 모델(절차)을 정리하면 아래와 같다.

1. 추진 배경

2016년 NSF는 미래 과학기술 발전을 위한 '10 Big Ideas'를 발표했고 그중 하나가 '융합 연구의 성장(Growing Convergence Research)'이다. 처음부터 도전적인 연구 질문을 구성하고 성공적 연구에 필요한 협업을 촉진하려는 의도이다. 오늘날의 가장 큰 도전 과제(예: 건강, 식량, 음식, 에너지, 우주 탐험 등)들이 한 분야만으로는 해결되지 않기 때문에 혁신과 발견을 촉진하기 위해 다양한 지식 분야의 아이디어, 접근 방식 및 기술을 병합하는 융합이 필요함을 강조한 것이다. CA는 이 아이디어를 실현하기 위한 구체적인 프로그램으로 2019년에 탄생하게 된다. 결국 CA는 다양한 분야, 전문 지식 및 분야의 혁신적인 아이디어, 접근 방식 및 기술을 결합하여 국가 규모의 사회 및 경제 문제를 해결하는 프로그램이다.

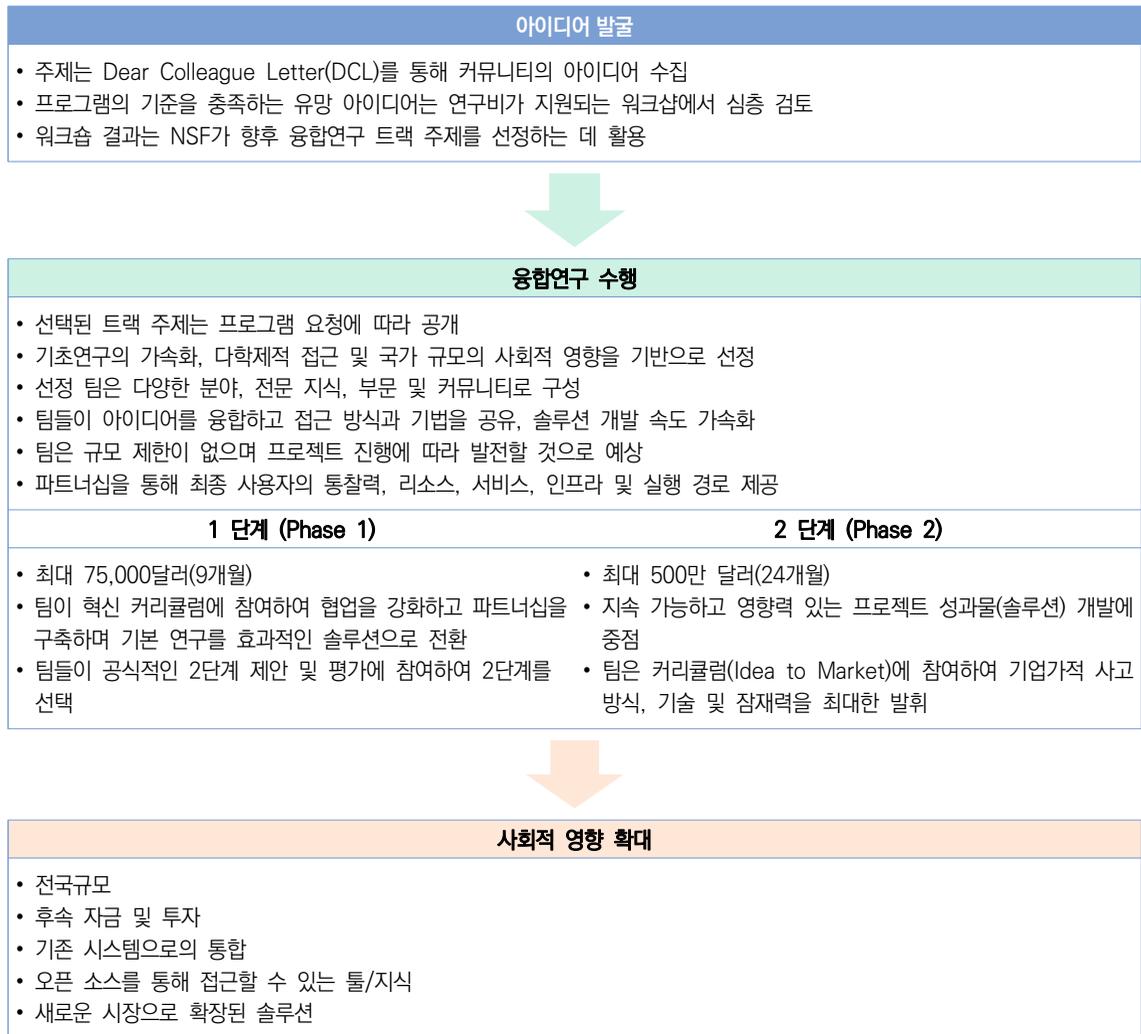
NSF에서는 융합연구(convergence research)를 골치 아픈 연구 문제, 특히 사회적 요구에 초점을 맞춘 문제를 해결하는 수단으로 보고 있다. 융합연구의 두 가지 주요 특성으로 첫째, 과학적 질문이든 긴급한 사회적 요구이든 간에 구체적이고 설득력 있는 문제로부터 시작한다는 점을 꼽는다. 둘째, 여러 분야에 걸친 긴밀한 통합이 이루어진다고 본다. 융합연구는 의도적으로 다양한 연구자들을 한데 모은다. 서로 다른 분야의 전문가들이 공통의 연구 과제를 추구함에 따라 그들의 지식, 이론, 방법, 데이터 및 연구 커뮤니티가 점점 더 뒤섞이게 된다. 융합연구에서 새로운 프레임워크, 패러다임 또는 심지어 학문 분야가 등장할 수 있으며, 이는 연구 커뮤니티가 공통의 프레임워크와 새로운 과학 언어를 채택함에 따라 가능하게 된다는 것이다.

2. 프로그램 모델

CA 프로그램 모델은 아이디어 발굴을 통한 주제 선정과 융합연구 1, 2단계의 세 단계를 포함된다. 1단계가 끝나면 팀은 공식 NSF 피치 및 제안 평가에 참여한 후 선정된 팀은 2단계로 진출하게 된다. 융합연구 단계를 완료한 팀은 사회적 요구를 충족하고 NSF 지원이 종료된 후에도 영향력 있는 솔루션을 제공할 것으로 예상된다. 아이디어 발굴 단계에서 Dear Colleague Letter(DCL)는 중요한 역할을 한다. DCL은 NSF가 과학 커뮤니티에

새로운 연구 기회, 정책 변경, 또는 특정 주제에 관한 관심을 알리는 공식 소통 수단으로 주로 새로운 연구 트랙이나 우선순위 영역을 발표하는 데 사용된다. 이는 프로그램의 새로운 연구 방향과 우선순위를 제시한다. 이는 연구자들이 NSF의 관심사와 일치하는 제안서를 준비하는 데 도움을 준다. 아울러 NSF의 의사결정 과정과 우선순위를 공개적으로 공유함으로써 투명성을 높이는 역할을 하고 있다.

표 1. CA 프로그램 모델



* 출처: NSF(2024) 및 Baru et al. (2021) 재구성

표 2. 아이디어 발굴 서식(예시)

Dear Colleague Letter

Request for Information on Future Topics for the NSF Convergence Accelerator

개요 (OVERVIEW)

- 이 RFI(Request for Information)는 NSF의 10가지 빅 아이디어와 함께 발행된다.
- 목적은 산업, 대학, 비영리 단체, 정부 기관 및 기타 이해 관계자로부터 빅 아이디어 또는 빅 아이디어와 직접 관련이 없지만 국가적 영향을 미칠 수 있는 기타 주제에 대한 향후 NSF Convergence Accelerator 트랙에 대한 의견을 구하는 것이다.
- 이 RFI는 연구 제안서가 아니지만 이 절차는 향후 연구비 지원을 위한 주제를 제안할 수 있다. 제안자는 이러한 아이디어를 구체화하기 위해 회의 제안서를 별도로 제출할 수 있다.

배경 (BACKGROUND)

- NSF Convergence Accelerator의 목표는 국가적으로 중요한 영역에서 사용 영감을 받은 융합 연구를 가속화하고 특정 트랙 내에서 탐색적이고 잠재적으로 위험성이 높은 제안에 대한 융합 팀 구축을 시작하는 것이다.
- NSF는 대부분의 과학·공학 분야에 걸쳐 연구 및 교육의 자금 제공자이자 전 세계 대학 및 자금 지원 기관과의 관계를 통해 발견 및 혁신을 가속화·지원할 수 있는 독보적인 위치에 있다. NSF Convergence Accelerator는 융합연구 접근 방식이 필요한 국가적으로 중요한 과제에 초점을 맞추기 위해 팀을 모집한다.
- 팀은 다양한 분야, 파트너십을 활용한다. 트랙은 그랜드 챌린지 문제와 관련이 있으며 정해진 기간 내에 사회에 도움이 되는 연구 결과물을 얻을 가능성이 높다.
- NSF Convergence Accelerator는 가장 미래 지향적인 기업 및 고등 교육 기관의 가속화 및 혁신 활동을 모델로 한다.
- NSF Convergence Accelerator는 여러 이해 관계자(예: 산업, 대학, 비영리 단체, 정부 기관 등)를 포함 하거나 포함할 파트너십을 통해 빠른 발전을 장려하는 동시에 기초연구를 지원한다.
- NSF Convergence Accelerator는 국가적으로 중요한 공통의 연구 목표에 초점을 맞추지만 해당 목표에 대한 다양한 접근 방식을 추구할 수 있는 코호트로 팀을 모집한다.

목표 (OBJECTIVE)

- RFI의 주요 목적은 향후 NSF Convergence Accelerator 트랙에 대한 아이디어를 찾는 것이다.
- 기타 주제에 의해 개발된 기초연구를 기반으로 과학적, 사회적 영향을 미칠 수 있는 향후 트랙에 대한 제안을 찾고 있다.
- 이 RFI에 대한 응답으로 제안된 아이디어는 트랙 A1, B1 및 B2와 폭이 유사해야 하며, 이는 각각 다른 접근 방식을 취할 수 있는 코호트로 함께 작업하는 일련의 관련 연구팀을 지원할 수 있을 만큼 충분히 광범위해야 한다.
- 트랙은 다학제적 융합연구 접근 방식에 적합해야 하고, 그랜드 챌린지 문제를 해결해야 하며, 산업체와 학술 연구자 간의 파트너십을 활용할 수 있는 잠재력이 있어야 하며, 정해진 기간 내 사회에 도움이 되는 결과물을 얻을 가능성이 높아야 한다.
- 또한 NSF는 NSF Convergence Accelerator 주제 아이디어를 구체화하고 이해 관계자 및 파트너 간 협력을 확대하여 연구 결과를 사용할 수 있도록 전환하는 데 도움이 되는 대학 및 비영리 단체의 컨퍼런스 제안서를 별도로 제출할 것을 권장한다.
- 이러한 컨퍼런스에 대한 제안서(심포지엄 또는 워크숍의 형태를 취할 수 있음)는 제II.E.7장의 NSF 제안 및 수상 정책 및 절차 가이드(PAPPG)에 설명된 대로 요청하지 않은 제안으로 제출될 수 있다.

대상 (WHO SHOULD RESPOND)

- 산업, 대학, 비영리 단체나 정부 기관의 연구원 및 기타 이해 관계자는 향후 NSF CA 트랙에 대한 개념을 제출할 수 있다.
- 대학 및 비영리 단체의 연구원은 컨퍼런스 제안서를 제출할 수 있다.

* 출처: NSF 웹사이트에 게시된 DCL 예시 중 핵심 내용만 발췌, 재구성

3. 주요 특징

CA는 다른 연구개발 프로그램과 차별화되는 핵심 사항은 가시적인 성과물을 내기까지의 속도이다. 일반적인 NSF 연구 프로그램이 장기적인 기초연구에 중점을 두지만, CA는 보통 2~3년 이내에 실용적인 결과물을 만들어내는 것을 목표로 한다.

코호트를 위한 팀이 선정되면 융합연구 1단계가 시작된다. 1단계는 9개월간 연구비로 최대 75,000달러이다. 이 기간에 수혜자들은 인간 중심의 디자인, 팀 사이언스, 스토리텔링에 대한 교육에 참여한다. 그들은 또한 그 프로그램의 독특한 특징인 개별화된 코칭을 받는다. 게다가, 그들이 연구를 수행할 때 팀들은 다른 팀들과 협력하도록 권장된다. 1단계가 끝나면 팀들은 개념적인 프로토타입을 개발하고 자신의 트랙과 관련된 사회적 문제에 관한 연구와 제안된 해결책을 설명하는 공식 NSF 피치에 참여하게 된다.

CA 프로그램의 마지막 단계인 융합연구 2단계에서는 팀의 피치와 공식적인 2단계 제안을 바탕으로 참여할 팀을 선정한다. 2단계 상은 2년 동안 최대 500만 달러이다. 2단계 동안 수혜자들은 연구를 사용으로 전환하기 위해 제품을 개선하고 파트너십을 구축하며 CA 프로그램을 넘어 아이디어를 지속할 수 있는 계획을 수립한다. 2단계가 끝나면 팀들은 NSF의 추가 지원과 자금 지원 없이도 사회적 요구를 대규모로 해결할 수 있는 성과물을 제공할 것으로 예상된다.

표 3. Convergence Accelerator의 차별성

구분	내용
다학제 Multidisciplinary approach 	<ul style="list-style-type: none"> • 선정된 팀은 다양한 분야, 전문 지식 및 조직으로 구성 • 팀은 아이디어를 결합하고 접근 방식과 기술을 공유하여 기술개발 실효성을 가속화 • 팀 규모는 제한이 없으며 프로젝트가 진행됨에 따라 변경
사회적 영향 Societal impact 	<ul style="list-style-type: none"> • 프로젝트는 지속 가능성과 국가 규모의 영향에 초점 • 연구팀은 3년 이내에 사회적 문제를 해결하고 국가의 경쟁력과 안보를 강화하는 영향력 있는 결과물을 제공해야 할 의무
교차 파트너십 Cross-cutting partnerships 	<ul style="list-style-type: none"> • 최종 사용자의 통찰력, 리소스, 서비스, 인프라 및 실행으로의 전환 경로 제공, 자금 지원 기회 창출
혁신 커리큘럼 Innovation curriculum 	<ul style="list-style-type: none"> • 혁신 커리큘럼은 팀에게 아이디어가 개념증명, 프로토타입 및 솔루션으로 이동할 수 있는 수단 역할 • 연구원들은 인간 중심 디자인, 팀 과학, 커뮤니케이션, 스토리텔링 및 피칭에 대한 지식을 습득
코피티션 환경 Coopetition environment 	<ul style="list-style-type: none"> • 혁신적 아이디어를 자극. 팀이 경쟁과 동시에 전문 지식과 리소스를 공유하여 솔루션이 다음 단계로 발전할 수 있도록 유도
트랙 정렬 Track alignment 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 팀은 융합 연구 트랙 내의 다른 팀과 통합하기 위해 협력 • 개별과제를 넘어 더 큰 영향을 미치도록 추진

* 출처: NSF 웹사이트

IV. 프로그램 포트폴리오 (투자 영역)

CA는 2024년 하반기 현재 5개의 코호트로 구성되며 각 코호트는 융합연구 트랙 주제에 중점을 두고 있다. 2019~2022 코호트는 현재 2단계에, 2023 코호트는 현재 1단계에 있다.

표 4. 연도별 연구 주제(투자 영역)

연도	세부 내용		
2019 COHORT Complete	TRACK A	개방형 지식 네트워크 Open knowledge networks Phase 1: 21개 팀 Phase 2: 5개 팀	인공지능과 업무의 미래 AI and the future of work Phase 1: 22개 팀 Phase 2: 2개 팀
	TRACK C	양자 기술 Quantum technology Phase 1: 11개 팀 Phase 2: 4개 팀	AI 기반 데이터 공유 및 모델링 AI-driven data sharing and modeling Phase 1: 18개 팀 Phase 2: 6개 팀
2020 COHORT Phase 2	TRACK E	네트워크화된 블루 이코노미 Networked blue economy Phase 1: 16개 팀 Phase 2: 6개 팀	통신 시스템의 신뢰와 진위 Trust and authenticity in communication systems Phase 1: 12개 팀 Phase 2: 6개 팀
	TRACK G	5G 인프라를 통한 안전 운영 Securely operating through 5G infrastructure Phase 1: 16개 팀	장애인의 기회 증진 Enhancing opportunities for persons with disabilities Phase 1: 16개 팀
2021 COHORT Phase 2	TRACK I	글로벌 도전을 위한 지속 가능한 재료 Sustainable materials for global challenges Phase 1: 16개 팀	식량 및 영양안보 Food & nutrition security Phase 1: 16개 팀
	TRACK K	공정한 물 이용 Equitable water solutions Phase 1: 16개 팀	현실 화학 센싱 애플리케이션 Real world chemical sensing applications Phase 1: 16개 팀
2022 COHORT Phase 1	TRACK M	바이오 모방 디자인 혁신 Bio-inspired design innovations Phase 1: 16개 팀	TRACK J
	TRACK L	TRACK H	TRACK F
2023 COHORT Phase 1	TRACK M	TRACK I	TRACK G
	TRACK M	TRACK J	TRACK H

* 출처: NSF 웹사이트

1. TRACK A (Open Knowledge Networks)

매일 방대한 양의 데이터가 생성되지만 많은 조직에서는 이러한 데이터를 사용하여 인사이트를 도출하고 의사결정을 내릴 수 있는 접근성이 부족한 상황이다. 전 세계의 지식을 호스팅하는 지식 네트워크나 저장소(repository)는 과학 연구에서 상업 부문에 이르기까지 혁신을 주도하는 데 도움이 될 것이다. 지식 네트워크 및 그래프는 데이터 검색, 통합 및 재사용을 위한 강력한 접근 방식이다. 이러한 인프라의 개발과 유지

관리에 대한 투자가 필수적이지만 오늘날에는 빅테크가 중요한 지식 그래프와 네트워크를 개발하고 활용할 수 있는 실정이다. CA는 특히 정부, 학계, 중소기업 및 비영리 단체가 데이터에 자유롭게 접근할 수 있도록 개방형 지식 네트워크(OKN)를 구축하기 위한 비독점 인프라 구축에 연구비를 지원하였다. 연구팀은 팀은 도시 홍수, 사법 법원 기록, 생물의학 건강, 지리 공간 정보, 지식 네트워크 생성 및 사용을 위한 기술 인프라 개발에 집중하였다.

Phase2 프로젝트의 성과 중 일부를 살펴보면 우선, Biomedical Open Knowledge Network(University of California, San Francisco)를 들 수 있다. 분자, 약리학적 화합물, 장기 및 질병, 식품 영양소 등을 포함한 수백만 개의 생물의학 정보를 연결한다. 이 연구팀은 약물 개발과 정밀 의학을 발전시키기 위해 그래프 이론, 고급 시각화 및 실제 임상 증거를 사용하여 응용 프로그램을 개발하였다. 두 번째로 SCALES(Northwestern University) 개방형 지식 네트워크는 사법 법원 기록을 기반으로 통찰력을 제공하는 정보를 공개하였다. 법정 기록을 해독하고 데이터를 실행 가능한 정보로 변환하여 법학자, 언론인, 정책 입안자, 사법부와 시민을 포함한 다양한 사용자를 지원하는 것이다. 세 번째로 도시 홍수 개방형 지식 네트워크(Urban Flooding Open Knowledge Network; University of Cincinnati)는 도시 홍수에 대해 의사 결정권자와 도시 계획자의 실시간 대응 및 장기 계획을 지원하였다. 여기서 주목할 만한 사항은 바로 Data2Knowledge 컨소시엄이다. 이는 기후 변화와 인간의 건강, AI 혁명에 이르기까지 복잡한 사회적 문제를 해결하는 데 필요한 다양한 정보를 통합하는 핵심 인프라이다. Open Knowledge Network 2단계 팀은 Data2Knowledge 컨소시엄을 만들고 CA Track의 결과가 “부분의 합보다 더 큰” 시너지 효과 창출을 위해 트랙 통합을 위해 협력하였다. 이 컨소시엄의 목표는 개방형 지식 그래프 개발 및 사용을 위한 생태계를 촉진하는 것이다.

2. TRACK B (AI and the future of work)

AI, 머신러닝 및 로봇 공학 분야의 기술 발전은 예상치 못한 방식으로 인간 업무(일)의 미래를 변화시키고 있다. CA는 업계 요구와 미래의 일자리에 맞춰 현재와 미래 인력에 대한 교육, 재교육 솔루션에 중점을 두었으며, 지속적인 글로벌 경쟁력을 보장하기 위해 국가 인재 생태계를 구축하였다.

학계, 산업계, 비영리 단체 및 최종 사용자 파트너로 구성된 팀은 미래의 업무 솔루션을 개발하기 위해 융합연구를 진행하였다. 업계 요구 사항을 반영한 STEM 인재 파이프라인을 만들고, 작업자를 안전하게 보호하고, 업무를 더 잘 수행할 수 있도록 지원하고, 새로운 일자리를 창출하는 데 기여하였다. 솔루션에는 역량 기반 교육을 통한 미국 인재 파이프라인 개발, 학생들이 취업을 준비할 수 있도록 교육 기관과 업계 요구 사항을 연결하는 지능형 도구, 인간 증강을 통한 응급 구조원의 인력 교육 및 안전 개선, 개인의 고유한 기술을 도출하여 직장에서 성공할 수 있도록 준비하는 가상 현실 및 증강 현실(VR/AR) 도구 개발이 포함되었다.

2단계 프로젝트 중 일부를 소개하면, 첫째, LEARNER(Texas A&M)로서 민첩하고 적응력이 뛰어난 HAT(Human Augmentation Technologies) 통합 비상 대응 교육 플랫폼으로, 더 안전하고 효율적인 응급실 작업을 유도하고, 숙련된 응급실 인력을 구축·유지하는 데 기여하였다. 두 번째로 SkillSync(Eduworks Corporation)이다. AI 및 국가 기술 데이터를 사용하여 기업이 필요한 기술을 선별하고, 이를 대학 평생 교육

부서와 연결하여, 대학이 효과적이고 공평한 재교육 프로그램으로 대응할 수 있도록 지원하였다. 한 단계 더 나아가 2단계 팀들은 트랙 통합으로서 기술 기반 인재 생태계 플랫폼인 STEP UP을 만들어 개별 작업자의 기술과 재능을 가장 필요한 곳에 연결할 수 있도록 만들었다.

3. TRACK C (Quantum technology)

양자 기술 트랙에 속한 팀들은 자율주행 차량 및 의료 서비스와 같은 애플리케이션에 배포할 수 있는 센서, 디바이스, 인터랙티브, 네트워크 및 시뮬레이션과 같은 양자 기술을 개발하고 있다. 또한 강력한 산학 파트너십을 활용하여 혁신적인 커리큘럼을 만들고 있다. 양자 기술 2단계 프로젝트에는 대학을 중심으로 양자 센서, 양자 네트워크 및 시뮬레이션 분야에 집중하고 있다. 다른 트랙과 차이가 나는 점은 기술개발과 더불어 인력양성 및 교육이 큰 부분을 차지한다는 점이다. QuSTEAM(오하이오 주립대)은 양자 정보 과학 및 엔지니어링 분야의 중요한 인력 요구를 해결하는 것을 목표로 하는 혁신적인 학부 커리큘럼도 운영 중이다.

4. TRACK D (AI-driven data sharing and modeling)

개인정보 보호, 쉽고 효율적인 데이터 매칭 · 공유와 관련된 문제를 해결하기 위한 도구 및 플랫폼 개발에 중점을 두고 있다. 2단계 프로젝트에는 환경 분야에 초점이 맞추어져 있다. BurnPro3D(University of California, San Diego)는 화재 대응 커뮤니티가 위험을 빠르고 정확하게 이해하여 산불을 더욱 효과적으로 관리할 수 있도록 지원하는 의사결정 지원 플랫폼이다. University of California, Davis에서 주도하고 있는 정밀 역학(Precision Epidemiology) 연구팀은 동물 건강 관리를 위해 가축 생산 및 보건 분야 전반에 걸쳐 데이터, AI 모델 및 전문 지식을 융합하는 온라인 플랫폼을 개발하고 있다.

5. TRACK E (Networked blue economy)

블루 이코노미(blue economy)로 일컫는 해양 관련 자원과 산업은 기후, 지속 가능성, 식량, 에너지, 오염 및 경제 관련 문제를 해결하는 데 중심 역할을 한다. 이 트랙은 블루 이코노미를 상호 연결하고 해양 부문 전반에 걸쳐 융합을 가속화하여 개방형 생태계를 만드는 데 중점을 둔다.

2단계 프로젝트 중 주요 내용으로는 디지털 리프(Digital Reefs; Woods Hole Oceanographic Institute)로서 산호초 환경의 인터랙티브 4D 시각화를 지역 사회에 제공함으로써 산호초의 지속 가능성을 보장하는 데 기여하고 있다. 다른 예시로서 Nereid Biomaterials(University of California, Santa Barbara)는 플라스틱을 안전하고 빠르게 해양에서 분해될 수 있도록 하여 건강한 바다를 만들고 있다. 이 팀은 해양 미생물학, 합성 생물학, 재료 과학 및 로봇 공학을 융합하여 플라스틱 분해속도를 높이고 제어하기 위해 첨가제가 내장된 “해양 분해성” 폴리머를 개발하고 있다. 마지막으로 ReCoast(Tulane University)는 루이지애나 해안 지역의 침식 문제를 해결하기 위해, 유리병을 재활용하여 모래를 만드는 기술을 개발하고 있다. 해안 생태계의 건강을 평가하고 복원하기 위한 생태학적 지식과 방파제, 인공 구조물 등 해안 보호를 위한 공학적 해결책, 지역 사회와의 협력을 통해 해안 복원의

사회적, 경제적 영향을 평가하는 사회과학, 해안 침식 및 복원 효과를 예측하고 최적화하는 데이터 과학 및 모델링이 한꺼번에 융합하며 진행되는 프로젝트이다.

6. TRACK F (Trust and authenticity in communication systems)

이 트랙의 목표는 통신 시스템에 발생하는 위협에 대한 긴급한 요구를 해결하는 것이다. Phase 2 프로젝트의 주요 연구 주제는 아래와 같다. State University of New York Buffalo에서 주도하는 DART(Deception Awareness and Resilience Training)는 노인들이 위협을 인식하여 스스로를 보호할 수 있도록 돕는다. 게임 디자이너, 소셜 미디어 연구원 및 보안 전문가가 개발한 DART는 커리큘럼을 조정하고 게임화하여 노인이 교육에 접근하고 참여할 수 있도록 지원하고 있다. Expert Voices Together(조지 워싱턴 대)는 조직적인 온라인 괴롭힘으로 고통받는 언론인, 과학자 및 기타 전문가를 지원하기 위해 신속한 대응 시스템을 구축하고 있다.

7. TRACK G (Securely operating through 5G infrastructure)

이 트랙의 목표는 군사, 정부나 중요 인프라 운영자의 보안 및 복원 요구 사항을 충족하면서 공용 5G 네트워크 운영 및 5G 인프라를 확대하는 것이다. 2단계 프로젝트에는 다음과 같은 연구 주제가 포함되어 있다.

콜로라도 대학교에서 주도하는 GHOST(5G Hidden Operations through Securing Traffic)는 사용자 장치 보호, 생활패턴 분석 방지, 트래픽 분석 방해, 허위 정보 주입 방지 등과 관련한 5G 네트워크 솔루션을 개발한다. 존스 홉킨스 대학교에서 주도하는 AVOID(Automated Verification of Internet Data-paths)는 적대국이나 적대 기관이 임의로 제어하지 못하도록 다양한 5G 통신 보호 기술을 개발하고 있다.

8. TRACK H (Enhancing Opportunities for Persons with Disabilities)

이 트랙의 목표는 장애인의 삶의 질과 고용 기회를 향상시키기 위한 새로운 기술과 도구를 개발하는 것으로 2단계 주요 프로젝트는 다음과 같다.

HeardAI(Michigan State University)는 말을 더듬는 사람로부터 음성 샘플을 수집하고 피드백을 받아 청각 장애인과 난청인의 의사소통을 개선하고 있다. 인공지능(AI)과 증강현실(AR) 기술을 활용하여 실시간 자막 및 통역 솔루션을 개발하는 데 중점을 두었고 교육 및 직장 환경 개선에 기여하고 있다. Inclusio(세인트루이스 대)는 저시력 및 시각 장애가 있는 사람들에게 다양한 서비스를 제공하기 위한 플랫폼을 제공하는 것을 목표로 한다. 이로써 장애인의 고용 기회를 확대하고 직장 내 포용성을 증진하는데 기여하고 있다. 리하이 대학교가 이끄는 MABLE(Mapping for Accessibility in Environments)은 장애인들이 대규모 행사, 컨퍼런스 및 교육 프로그램을 경험할 수 있도록 해준다. 클라우드센싱, AI 및 로보틱스를 사용하여 개인이 디지털 앱을 통해 반응형 지도와 단계별 지침을 제공하여 실내 환경을 성공적으로 탐색할 수 있도록 지원한다.

9. TRACK I (Sustainable Materials for Global Challenges)

이 트랙의 목표는 재료 설계 및 제조 프로세스를 포함한 기초 재료 과학을 발전시키기 위한 솔루션을 개발하는 것이다. 환경·경제적으로 지속 가능한 재료와 제품을 만들기 위함으로 2단계 주요 주제는 다음과 같다.

ReCreatelt(re:3D Inc.)은 매립 폐기물을 줄이기 위한 기술을 통해 순환 경제를 구축하고 있다. 저소득층 주택 소유자가 3D 프린팅을 통해 재활용 플라스틱 폐기물을 사용하여 가정용품을 디자인할 수 있도록 지원한다. 이 팀은 호주 파트너인 CSIRO가 공동 연구비를 지원하며 울릉공 대학교와 웨스턴 시드니 대학교의 호주 연구원이 포함되어 있어 다국적 참여를 기반으로 한 국제형 융합연구이다. 또한 MIT가 이끄는 토폴로지 전기(Topological Electric)는 환경 지속 가능성, 확장성 및 우수한 성능을 갖춘 저비용 차세대 에너지 및 정보 장치로 토폴로지 재료를 개발·활용하는 것을 목표로 한다. 즉, 토폴로지 재료를 기반으로 전자 및 에너지 수확 장치 프로토타입을 개발하는 프로젝트이다. 16,000개 이상의 환경 측면에서 지속 가능한 위상 물질로 구성된 포괄적인 데이터베이스를 만드는 데 성공한 1단계 과제 성공을 기반으로 양자 연구에서 위상 물질의 획기적인 잠재력을 활용하고자 하는 것이다. 2단계는 마이크로일렉트로닉스 및 에너지 하베스팅의 고급 응용 분야를 위한 친환경 토폴로지 프로토타입 장치를 개발하는 것을 목표로 한다.

10. TRACK J (Food & nutrition security)

이 트랙의 목표는 취약하고 불우한 지역 사회의 건강, 영양 문제를 해결하기 위해 식품 및 영양 부문 전반에 걸친 융합을 가속화하는 것으로 2단계 주요 프로젝트는 아래와 같다.

NourishNet(메릴랜드 대 칼리지 파크)은 생산자, 기부자, 유통업체를 식량 부족 문제를 가지고 있는 사람들과 연결한다. 음식 낭비 감소와 식량 불안 해결이라는 두 가지 중요한 사회 문제를 해결하기 위해 첨단 융합기술을 활용하여 음식 기부 과정을 간소화하고 투명하게 만들며, 지속 가능한 식량 시스템 구축에 기여하고 있다. 또 다른 예시로서 SENS-D(컬럼비아 미주리 대)는 빠른 감지 기술과 감지 시스템 프로토타입을 통합하여 시각화, 예측, 최적화 기능을 포함하는 변혁적인 센서 기반 의사결정 지원 시스템(DSS)을 만든다. 이 시스템은 가금류 공급망 전체에서 살모넬라 오염을 감지하고 완화하는 데 사용된다.

11. TRACK K (Equitable water solutions)

담수는 미래 생태계, 인간의 건강 및 국가 안보에 매우 중요하다. 미국 국립보건원(National Institutes of Health)에 따르면 20억 명의 사람들이 기본적인 손 씻기 시설이 부족한 문제를 겪는다고 한다. 이 트랙에는 환경 과학, 지구과학, 엔지니어링, 컴퓨팅, 사회 및 행동 과학 및 기타 분야의 기초 지식을 융합하여 수질, 수량 등 물에 대한 솔루션 개발을 목표로 한다. 현재 진행 중인 과제 예시로 '지역사회 역량 강화를 위한 물 정보의 형평성(Boise State University)', 'POU(point-of-use) 애플리케이션을 위한 전기역학 정수 시스템(아이오와 주립대)', '센서 데이터 및 기계 학습 모델을 통한 수질 및 형평성 개선(캔자스 대)' 등이 있다.

12. TRACK L (Real world chemical sensing applications)

사회는 환경 모니터링, 식품 안전, 농업, 질병 진단, 보안·테러와 관련된 각종 도전 과제에 직면해 있다. 이 트랙에서는 후각 및 화학 감지, 센서 기술, 디지털 후각, 인공지능, 뉴로모픽 시스템, 컴퓨터 모델링, 바이오 제조 및 로봇 공학 등이 주요 주제이다. 현재 진행 중인 과제 예시로 AI 기반 스마트 저비용 암모니아 센서(Georgia Tech Applied Research Corporation), 마약 및 무기 탐지를 위한 코(nose)-컴퓨터 인터페이스(Canaery, Inc.), 곤충 후각 원리의 실용적이고 강력한 화학 감지 플랫폼 변환(워싱턴 대) 등을 들 수 있다.

13. TRACK M (Bio-inspired design innovations)

기후 변화, 인프라 모니터링 및 복원력, 식량 생산 및 인간 건강을 포함한 복잡한 사회적 문제를 해결하기 위해 바이오 분야에서 영감을 얻은 솔루션 개발이 별도로 진행되고 있다. 현재 진행 중인 과제 예시로 '효율적인 식품 단백질 생산을 위해 인공지능으로 설계된 미생물(Terraferma Foods Inc.)' 표적 곤충 감지 및 제어(FarmSense Inc), 증발 에너지 하베스팅을 위한 물 반응성 재료(뉴욕시립대) 등을 들 수 있다.

V. 시사점

1. 가속력이 붙은 기초연구 실용화(Basic Research into Practice)

CA는 기본적으로 기초연구를 지원하고, 기초연구와의 연계를 통해 산업적 응용 가능성을 탐색한다. 주목할 점은 기존의 NSF 혁신단(I-Corps), 중소기업 혁신 연구(SBIR), 중소기업 기술 이전(STTR)의 경쟁 프로그램이 아니라는 점이다. 오히려 실용성 강화를 위한 연구개발 경로의 초기에 위치하여 다른 프로그램들을 보완한다. 타 프로그램들과 달리, CA의 성공은 상업화에 관한 것은 아니지만, 상업화가 유용한 결과일 수도 있다(Baru et al., 2022).

프로그램의 이름에 명시(accelerator)되어 있는 바와 같이 신속한 연구 수행을 기본으로 한다. 단기간(3년) 내 연구를 완료할 수 있도록 융합 연구성과 창출을 가속화하기 위해 다른 프로그램에서 일반적이지 않은 다양한 방법을 동시에 추진한다.

연구과정을 가속화하기 위해 채택한 독특한 방법은 TRACK과 코호트이다. TRACK은 연구 주제나 문제 영역을 의미한다. 각 TRACK은 사회적으로 중요한 특정 문제나 도전 과제를 해결하기 위한 연구 방향을 설정하게 되므로 연구자들이 명확한 목표와 방향성을 가지고 연구를 수행할 수 있도록 돕고 연구자들이 같은 문제를 다양한 각도에서 접근할 수 있게 되어, 종합적인 해결책을 마련할 수 있도록 유도하는 역할을 한다. 아울러 TRACK을 통해 자원과 지원이 특정 문제 영역에 효율적으로 배분하는 효과도 있을 것이다. 예를 들어 중복된 연구를 방지하고,

중요한 문제에 집중적으로 투자할 수 있게 한다.

COHORT는 같은 TRACK 내에서 함께 일하는 연구팀의 그룹을 의미한다. COHORT 내의 팀들은 네트워킹 기회를 통해 서로 배우고 성장할 수 있는 구조로 설계되었다. NSF는 각 COHORT에 멘토링 프로그램을 제공하여, 경험 많은 전문가들의 지도를 받을 수 있다. 이러한 지원은 연구의 질을 높이고, 팀이 목표를 달성하는 데 필요한 자원을 효과적으로 활용할 수 있게 한다. COHORT는 공동의 자원과 인프라를 공유하기도 한다. 이는 연구 비용을 절감하고, 중복된 노력을 줄이는 데 도움이 될 것이다. 결국, TRACK은 연구의 방향성을 제공하고, COHORT는 협력과 지원을 통해 연구성과를 극대화하여 융합연구 성과 창출을 가속화한다.

2. 융합 연구개발 과정에 ‘커리큘럼’ 도입

각 융합연구 단계에는 협업을 강화하고, 파트너십을 육성하며, 기초연구를 영향력 있는 솔루션으로 전환하기 위해 고안된 커리큘럼이 포함되어 있다.

1단계 혁신 커리큘럼은 팀이 초기 아이디어를 개념 증명으로 발전시키는 데 도움이 되도록, 2단계 아이디어 투마켓(Idea-to-market curriculum) 커리큘럼에서는 기업가 정신과 기술을 발휘하고 자금 지원을 받은 각 프로젝트가 잠재력을 최대한 발휘할 수 있도록 설계되었다. 우리나라의 국가연구개발사업 중 융합연구사업 및 과제에서 연구 수행 과정에서 전문 교육 및 코칭 과정을 마련, 병행하며 개발 속도와 효율성을 높이기 위한 제도는 찾아보기 힘들다는 점에서 참고할만한 사례이다.

표 5. 단계별의 CA 커리큘럼

단계	세부 내용
Phase 1 Innovation curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • 사용자 탐색: 최종 사용자를 식별하여 프로토타입에 대한 문제 검증, 인사이트 및 피드백 제공 • 인간 중심 디자인: 테스트를 위한 간단(low-fidelity) 프로토타입 개발방법을 포함하여 최종 사용자와 소통 • 팀 과학: 다양한 팀을 통합하여 비전을 개발하고 공통의 목표에 집중 • 커뮤니케이션: 파트너 및 기타 이해 관계자의 피드백을 참여시키고, 경청하고, 수용하여 팀 아이디어의 영향력을 제고 • 코칭 및 멘토링: 팀의 커리큘럼 숙달을 지원하기 위한 지침이 제공되어 기업가 정신에 대한 팀의 이해를 높이고 아이디어를 현실로 가속화 • 피칭: 잠재적 파트너, 투자자 및 최종 사용자를 포함한 다양한 이해 관계자에게 스토리텔링과 커뮤니케이션을 통해 과제와 솔루션을 설명하여 프로젝트의 가치를 전달. 커리큘럼 전반에 걸쳐 팀은 피칭을 연습하고 공식 피칭은 1단계가 끝날 때 진행 • 공공 엑스포: 매년 엑스포를 개최하여 프로그램의 프로젝트 포트폴리오를 대중, 잠재적 투자자 및 기타 이해 관계자에게 공개. 팀은 솔루션을 시연하고 새로운 파트너십을 개발할 기회를 탐색
Phase 2 Idea-to-market curriculum	<ul style="list-style-type: none"> • 코칭 및 멘토링: 멘토링이 계속되고 각 팀의 요구 사항에 맞게 긴밀하게 조정 • 피칭: 피칭 기술을 계속 연습 • 지속 가능성: 솔루션의 영향력 극대화를 위해 지속 가능성 계획을 개발 • 제품 마인드: 솔루션 개선을 지원하기 위한 제품화 요령 제공 • 기타 기업가적 기술: 팀이 솔루션을 실제 적용으로 발전시킬 수 있도록 재정적 경로와 리소스 제공 • 공공 엑스포: 매년 엑스포를 개최하여 프로그램의 프로젝트 포트폴리오를 대중, 잠재적 투자자 및 기타 이해 관계자에게 공개. 팀은 솔루션을 시연하고 새로운 파트너십을 개발할 기회를 탐색(1단계와 동일)

* 출처: NSF 웹사이트

프로그램의 혁신 커리큘럼과 코치가 제공하는 멘토링은 연구팀들에게 인기가 있어 팀들이 가시적 성과창출 문제에 대해 속도를 높일 수 있는 효과적인 경로를 제공한다. 프로그램에 대한 지역사회의 반응과 비공식적인 연구자 피드백을 바탕으로 이 프로그램은 연구 지역사회의 중요한 요구를 해결하는 것으로 보인다.

CA 프로그램의 모든 팀은 일반적으로 프로그램의 전체 포트폴리오를 선보이는 연례 Convergence Accelerator Expo에 참여(매년 7월 경)하는데 이 엑스포에서 팀들은 솔루션을 시연하고 새로운 파트너십을 개발할 기회를 가지게 된다. 팀이 프로젝트 결과물과 성과를 강조할 수 있는 기회가 정기적으로 열리는 것이다. 또한 커리큘럼에 포함된 pitching은 단순한 발표가 아니라, 자원 확보, 네트워킹, 아이디어 전달 및 시장 검증의 중요한 과정임을 보여준다.

3. 프로그램의 진화: 단일 프로그램에서 지역중심으로 지평 확장

2024년 4월, NSF는 국가 및 지역 경쟁력을 강화하기 위해 CA를 10개 지역 중심 프로그램으로 확장한다는 계획을 공식 발표했다. 이는 각 지역의 다양한 영역과 부문의 이해관계자를 연결하여 혁신생태계를 확장하고 지역 내 시급한 사회적, 경제적 과제를 해결하는 동시에 지역기반의 융합연구를 촉진하고자 하는 것이다. 단일 국가 프로그램에서 지역 프로그램 모음으로 이동하면서 혁신 생태계를 지속적으로 육성하는 것이다. 주, 지역 및 국가 차원의 협력은 미국 혁신 네트워크를 확장하여 연구팀이 네트워크를 통해 지역적 결과를 공유하여 궁극적으로 장기적인 국가적 영향을 주도할 수 있도록 하기 위함이다.

지역이슈와 관련, 현재 우리나라는 제6차 지방과학기술진흥종합계획('23~'27)이 수립되어 시행 중이고, 제3차 과학기술 기반 사회문제해결 종합계획('23~'27)에서도 지역 맞춤형 R&D에 대한 사업들이 추진 중이다. 국가차원의 융합연구사업들이 이러한 계획들과 긴밀히 연계된다면 지역 및 국가 차원의 협력을 장려하여 국가 혁신 네트워크를 확대를 기대할 수 있을 것이다.

VI. 결론

NSF의 Convergence Accelerator가 미국의 대표적인 융합연구 프로그램으로 자리매김한 것은 학제간 협력, 실용적 연구 중심, 효율적 자금 지원, 혁신적 프로젝트 선정 등 다양한 요인의 결합에 기인한 것으로 판단한다.

우선 학제간 협력 촉진 관점에서 CA는 TRACK과 COHORT의 개념을 활용하여 다양한 분야의 연구자들이 함께 일할 수 있는 환경을 조성하고 있다. 국내 연구 지원 정책에 학제간 협력을 촉진하는 메커니즘 점검과 보완을 고려할 수 있을 것이다. 두 번째로 CA는 국가적 중요성이 있는 실제 문제 해결에 초점을 맞추었다. 예를 들어, COVID-19 대응을 위한 AI 기반 예측 모델 개발 프로젝트를 지원하여 실제 정책 결정에 활용될 수 있는 결과물을

산출한 바 있다. 융합연구 주제 선정 시 사회적 영향력과 실용성을 주요 기준으로 고려할 만하다. 세 번째로 신속한 연구비 지원 메커니즘이다. CA는 2년 이내의 단기 프로젝트에 집중적으로 자금을 지원하였다 1단계에 기본 아이디어 검증을, 2단계에 프로토타입 개발을 목표로 하는 등 단계별 자금 지원으로 연구의 빠른 진행을 촉진한다. 마지막으로 혁신적인 프로젝트 선정 과정이다. CA는 다각적인 평가 시스템을 통해 프로젝트를 선정, 지원한다. 초기 제안서 심사, 대면 피칭, 전문가 패널 평가 등을 거쳐 가장 혁신적이고 영향력 있는 프로젝트를 선별한다. 이 과정에서 기술적 우수성뿐만 아니라 사회적 영향력과 실현 가능성도 중요한 평가 기준으로 삼고 있다. 우리나라도 융합연구사업 과제 선정과 수행 과정에 다각적인 평가 시스템 도입 검토가 필요한 시점이다.

저자소개 미래융합전략센터 데이터분석팀

최호영 박사 (정책사례연구, 다변량분석), 02-958-6142, alberto@kist.re.kr (교신)

이경혜 박사 (데이터분석팀장) 02-958-4975, khlee@kist.re.kr

김우중 선임 (과학기술정책, 빅데이터분석기사), 02-958-6178, wjkimrocks@kist.re.kr

박정환 연구원 (빅데이터분석기사, 정보처리기사), 02-958-4987, jh654@kist.re.kr

정재웅 박사 (과학기술정책, 데이터분석), 02-958-4977, jj86@kist.re.kr

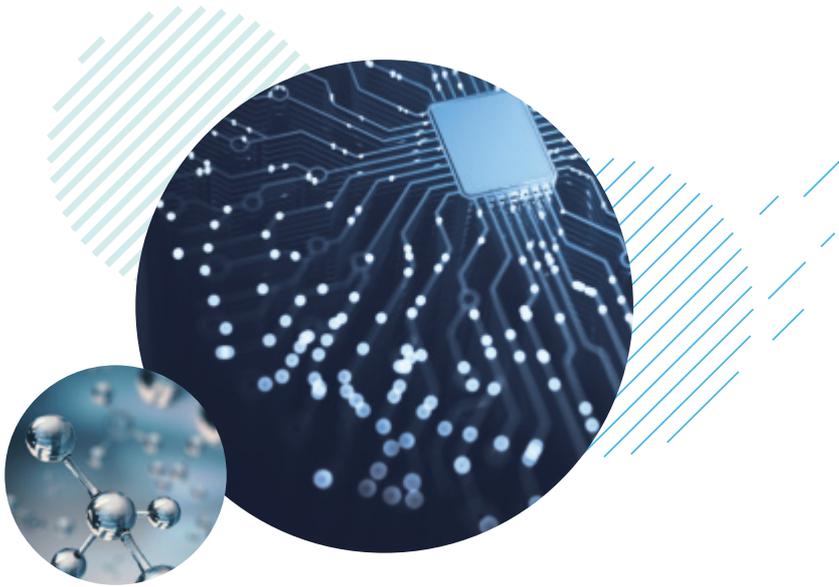
참고문헌

〈국내문헌〉

- 1) Baru, C., Campbell, L., Dade, A., Fulay, P., Loewi, A., Maughan, D., Mohedas, I., Molnar, L., Pozmantier, M., Reksulak, M., Smith, S., & Tehrani, N. (2022). The NSF Convergence Accelerator Program. *AI Magazine*, 43(1), 6–16. <https://doi.org/10.1002/aaai.12032>
- 2) NSF(2023). Convergence accelerator summary report: descriptive characteristics from 2019 to 2021. Alexandria, VA: National Science Foundation.
- 3) NSF(2024). NSF Convergence Accelerator Overview.
- 4) Smith, S., & Baru, C. (2020). NSF Convergence Approach to Transition Basic Research into Practice. arXiv preprint arXiv:2011.01251.
- 5) Wyhof, A., Lee, M., Lecornu, C., Thomas, M., Moore, S., Reid, C., Solden, C., and Stephen, R. (2023). Convergence Accelerator Summary Report: Descriptive characteristics from 2019 to 2021. Alexandria, VA: National Science Foundation.

〈기타〉

NSF 웹사이트 <https://new.nsf.gov/funding/initiatives/convergence-accelerator>



융합연구리뷰

Convergence Research Review



이 보고서는 2024년 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 작성되었음.

(2023M3C1A604340012)



융합연구리뷰

Convergence Research Review