2024 December Vol. 10
12

융합연구리뷰

Convergence Research Review

융합기술

첨단 ICT 융합 드론 플랫폼 기술 및 개발 방법론

임채덕(한국전자통신연구원 에어모빌리티연구본부장)

융합정책

국내 연구기관의 DARPA형 PM제도 도입 가능성 : KIST 임무중심 연구소 사례 및 시사점

구병석(한국과학기술연구원 기술정책연구소 선임연구원)

FCSC 미래융합전략센터
Future Convergence Strategy Center

CONTENTS

01 편집자주

03 첨단 ICT 융합 드론 플랫폼 기술 및 개발 방법론

31 국내 연구기관의 DARPA형 PM제도 도입 가능성 : KIST 임무중심 연구소 사례 및 시사점

융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 December Vol.10 No.12

발행일 2024년 12월 24일

발행인 임혜원

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

펴낸곳 공간기획 Tel. 044-863-0978

FCSC 미래융합전략센터
Future Convergence Strategy Center

편집자주

ICT 융합 드론, 차세대 서비스 혁신의 적극 활용

드론 시장은 제작에서 서비스 활용 중심으로 빠르게 전환되고 있으며, 저고도 드론의 발전은 경찰, 소방, 의료 등 다양한 분야에서 중요한 역할을 하고 있다. DNA+드론은 데이터, 네트워크, 인공지능 기술을 결합해 실시간 데이터 분석과 자율적 의사 결정을 가능하게 한다.

DNA+드론은 5G/6G 네트워크와 AI를 활용해 실시간 데이터 처리 및 자율 비행을 실현하며, 기존 산업의 생산성 향상과 사회 문제 해결에 기여하고 있다. 단순히 촬영 기능을 넘어, 지능형 서비스 생태계 구축에 중요한 기술로 자리잡은 것이다.

본 호 기술리뷰에서는 DNA+드론의 발전 현황과 ICT 융합 기술을 분석하고, 드론 센서 데이터 활용의 중요성도 강조한다. 국내외 기술 동향과 시장 전망을 통해 드론 기술의 미래 가능성에 대해 탐구하며, 정책적·기술적 제언을 제시한다.

한국형 DARPA PM제도… KIST 임무중심 연구소의 가능성

최근 정부는 국가 혁신 생태계를 선도형으로 전환하고, 기후변화, 디지털 전환, 신재생에너지 등 사회적 난제를 해결하는 임무지향 R&D의 중요성을 강조하고 있다. 이러한 흐름 속에서 KIST는 임무중심 연구소를 설립하여 부처 예산사업에 의존하지 않고 내부 출연금을 활용한 새로운 R&D 모델을 제시하고 있다. 이 모델의 핵심은 독립성과 자율성을 기반으로 한 PM 제도의 성공적인 구현에 있으며, 이를 지원하는 다양한 제도적 장치들이 마련되어 있다.

KIST 임무중심 연구소 모델의 성공 여부는 향후 실태와 성과 분석을 통해 평가될 것이다. 향후 운영 실적을 바탕으로 후속 연구를 통해 임무 달성의 성과와 유연성 등을 분석하고, 이를 통해 KIST의 임무중심 연구소 모델이 다른 연구기관과 분야로 확장될 수 있는 가능성을 제시할 수 있을 것이다.

융합연구리뷰
Convergence Research Review
2024 December Vol. 10
No. 12

융합기술

첨단 ICT 융합 드론 플랫폼 기술 및 개발 방법론

임 채 덕
한국전자통신연구원 에어모빌리티연구본부장

첨단 ICT 융합 드론 플랫폼 기술 및 개발 방법론

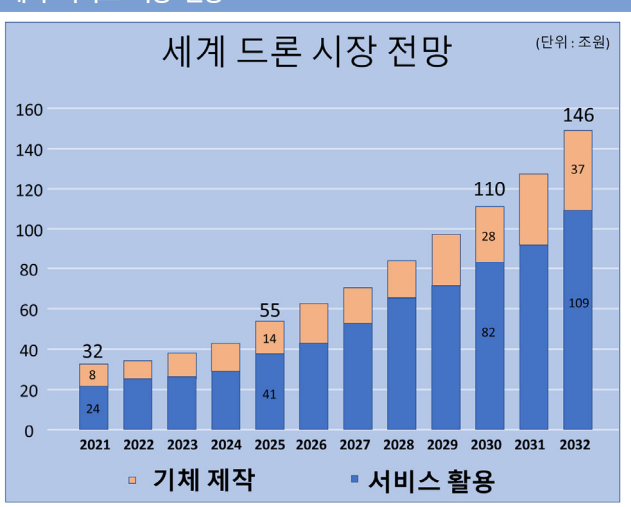
임 채 덕 (한국전자통신연구원 에어모빌리티연구본부장)

I. 서론

1.1. DNA+드론 출현 배경 및 연구 방향

드론 기술은 4차 산업혁명 시대를 대표하는 핵심 기술 중 하나로 다양한 산업 분야에서 그 활용도가 빠르게 증가하고 있다. 특히, 저고도 드론 기술은 기존의 고도 비행 시스템과 달리 도시 및 근거리 환경에서 활용될 가능성이 높아 미래 산업의 핵심 요소로 주목받고 있다. 최근 드론 시장은 크게 제작 시장과 서비스 활용 시장으로 나뉠 수 있다. 지금까지 드론 제작 시장의 경우 중국의 가격 경쟁력에 밀려 국내 제작 산업이 성장하지 못한 것이 사실이다. 반면, 서비스 활용 시장의 경우 우리나라의 유무선 통신 경쟁력을 기반으로 기술 개발 투자를 통해 경찰, 소방, 의료, 국방, 철도 · 건설, 측량 등 다양한 분야에서 드론 활용 서비스 글로벌 경쟁력을 견인할 수 있는 가능성이 높다고 보는 시각이 많다. [그림 1]과 같이 제2차 드론산업발전전략 세계드론 산업규모 전망을 토대로, 시장 성장률 연평균 14.9%(드론산업전망 리포트 4개社평균)과 DII Drone Market Report 2022-2030을 바탕으로 추산하면 '32년 서비스 활용 시장은 제작 시장 대비 거의 3배에 달하는 109조로 성장 예측된다.

그림 1. 드론 제작 시장 대비 서비스 시장 전망



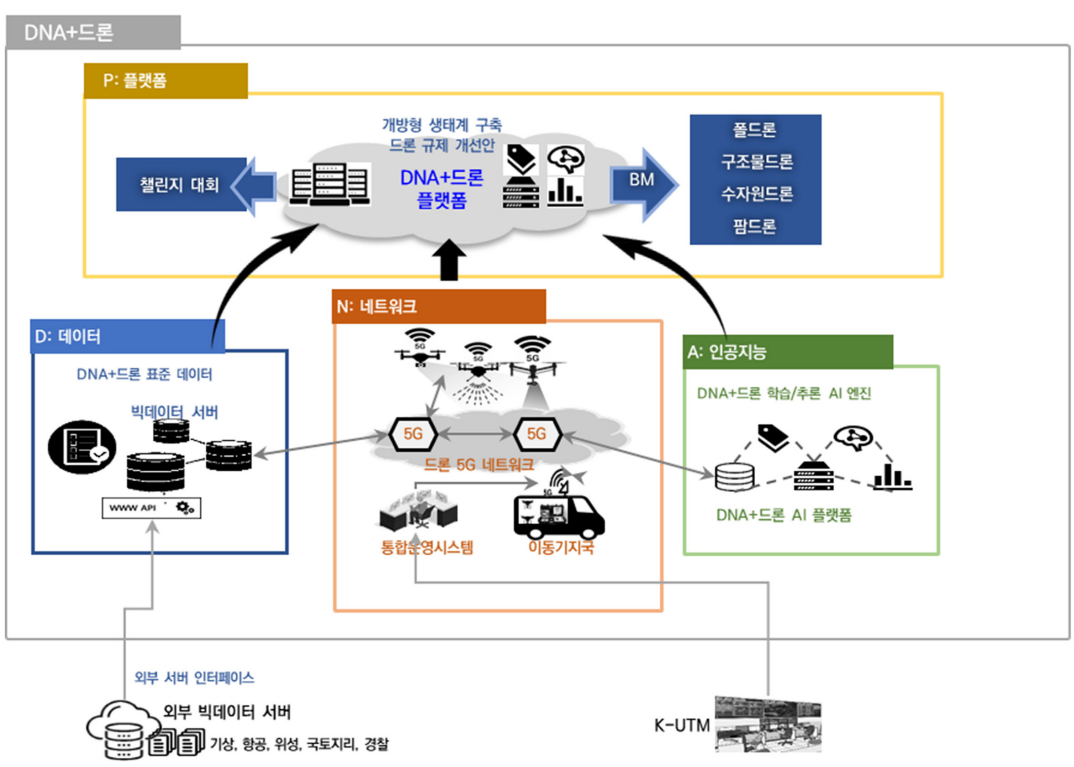
* 출처: Drone Industry Insights (2022)

드론을 다양한 서비스에 활용하기 위해서는 무엇보다 ICT 첨단기술의 융합이 필수적이다. 이러한 드론 기술의 발전은 단순 비행 기기에서 벗어나 데이터(Data), 네트워크(Network), 인공지능(AI) 기술과 결합하여 보다 지능적이고 실시간 서비스가 가능한 형태의 새로운 드론 서비스 생태계를 구축하는 방향으로 진화하고 있다. D, N, A 기술을 드론에 융합·적용하여 활용 서비스를 제공하는 것이 DNA+드론의 주요 기능이라 할 수 있다.

1.2. DNA+드론의 정의와 범위

DNA+드론[그림 2]은 저고도 드론 기술에 첨단 ICT 기술을 융합한 형태로, 표준 데이터 기반의 관제 및 운영, 5G/6G 네트워크와의 통합, 그리고 AI를 활용한 실시간 드론 임무 데이터 분석을 핵심으로 한다. 이는 드론이 단순히 데이터를 전달하거나 영상을 촬영하는 기능을 넘어, 실시간 데이터 처리, 네트워크 연계, 자율적 의사 결정을 수행할 수 있는 수준으로 발전했음을 의미한다. DNA+드론은 국민 안전 및 사회 문제 해결뿐만 아니라, 기존 산업의 생산성을 향상시키는 동시에 신산업 창출의 중요한 기술로 자리매김하고 있다.

그림 2. DNA+드론 개념



* 출처: 임채덕 외 (2020-2024)

1.3. 원고 구성

본 고에서는 DNA+드론 기술의 현재 발전 현황을 분석하고, 이와 관련된 ICT 융합 기술과 응용 분야를 조명하는 것을 목적으로 한다. 또한, 국내외 기술 동향 및 시장 전망을 통해 향후 발전 가능성을 탐구하고, DNA+드론 기술이 직면한 도전과제를 규명하여 발전 방향에 대한 정책적·기술적 제언을 제시한다.

보고서는 총 5개의 장으로 구성되며, 다음 장에서는 드론 데이터에 대한 기술적 개요를 다루고, 3장에서는 드론 전용 네트워크에 대한 필요성을 4장에서는 드론을 위한 인공지능 기술에 대해 살펴보고, 5장에서는 DNA+드론을 결합한 플랫폼 철학과 개발 방법론을 설명하고, 실증 사례를 소개한다.

II. 드론 Data

2.1. 드론 센서 데이터 개요

최근 드론 관련 시장의 중심이 제작에서 활용 서비스로 이동하면서 드론에서 생성되는 각종 센서 데이터의 품질과 데이터 활용 서비스의 중요성이 커지고 있다. 드론 서비스의 부가가치를 높이기 위해 인공지능 기술과의 결합이 추진되고 있으나 양질의 드론 센서 데이터의 부족으로 어려움을 겪고 있어 최근 정부차원의 데이터 확보 프로젝트에 드론 센서 데이터도 포함되어 진행되고 있다.

드론에서 생성되는 센서 데이터는 일반적인 센서 데이터와는 달리 드론의 위치 및 자세 변화에 따라 해석이 달라질 수 있다. 따라서 센서에서 획득되는 데이터는 특정 시점에서의 드론 및 센서의 위치(position)와 자세(attitude) 등의 비행정보와 결합되었을 때 임무의 요구사항을 완전히 충족할 수 있다. 예를 들어, 획득된 영상 내 특정 객체를 분석하기 위해서는 영상으로 파악되는 객체의 형태 뿐 아니라, 객체의 위치, 객체를 바라보는 방향, 영상이 취득된 시각 등의 정보도 활용될 수 있으므로 드론 임무수행과 관련된 정보가 정확히 매핑되어 활용될 수 있도록 지원할 필요가 있다. 고급형 상용 드론에서는 대부분 기체와 짐벌의 위치 및 자세 정보를 제공하고 있으며 이 정보는 별도의 비행정보로 제공됨과 동시에 센서와 결합된 메타정보로 제공되기도 한다.

2.2. 드론 센서 데이터 현황

드론 센서 데이터는 최근 AI의 발전과 더불어 그 중요성이 더해가고 있어 데이터가 일부 공개되어 있으나 데이터 자체가 시장을 형성하지는 못하고 있다. 특수한 목적을 가진 기계학습용 데이터셋은 드론에 촬영된 대상의 소유권, 초상권, 보안 등의 문제가 복잡하게 얽혀있어 외부에 공개되는 경우는 거의 없으며, AI 기반 서비스 기술이 개발되더라도 사용된 데이터는 일반적으로 공개되지 않으므로 사실상 드론 활용 서비스에 데이터와 관련된 시장이 내포된 것으로 볼 수 있다. 일부 공개되고 있는 데이터셋을 다음과 같이 소개한다.

MultiDrone 데이터셋은 시각적 감지 및 추적과 같은 작업을 위한 기존 시청각 자료와 신규 UAV 이미지로 구성된 약 260GB크기의 36개의 데이터셋 제공하고 있다.

UZH-FPV 드론 레이싱 데이터셋은 비전센서가 장착된 1인칭 시점 쿼드로터 레이싱 드론으로 촬영된 상태 예측과 드론 경주를 위한 고속 6자유도(6DoF) 궤적 데이터를 제공한다.

VisDrone 데이터셋은 이미지/비디오 물체감지, 단일/다중 객체추적과 같은 컴퓨터 비전 태스크를 위하여, 다양한 드론 장착 카메라로 촬영한 26만 프레임과 1만개의 정적 이미지로 구성된 Agriculture-Vision 데이터베이스에서는 공중에서 촬영된 미국 농장지의 RGB와 NIR의 512x512 컬러채널로 구성된 이미지 약 21,000개이며, 6개의 주석유형(구름그림자, 이중 식물, 물웅덩이, 수로, 잡초군)을 포함한다.

highD 고속도로-드론 데이터셋은 6곳의 독일 고속도로에서 여러 교통상황 시 촬영된 약 110,500대 이상의 차량에 대한 교통량 세트이며, 단일 고해상도 4K 카메라로 10cm 미만의 위치 오차로 오픈 프레임에서 차량 정보 및 궤도 추출 가능하다.

inD 교차로-드론 데이터셋은 4곳의 독일 교차로에 기록된 차량 궤도 데이터셋이며, 10cm 미만 위치 오차의 차량/보행자/자전거의 궤도 및 유형 추출 가능하다.

2.3. 드론 센서 데이터 표준화

그림 3. 데이터 모델 예시

* 출처: 김법균 외 (2020)

드론의 특성상, 드론 임무 중에 획득한 센서 데이터는 드론의 위치 및 자세의 변화 정보, 시간 정보와 결합되어야 할 필요가 있다. 최근 드론의 활용이 늘어나면서 드론에서 획득한 센서 데이터의 품질 향상에 대한 요구와 함께 데이터 유통에 필요한 표준화 요구가 늘어나고 있다.

[그림 3]과 같이 드론은 연구개발을 위한 실험적인 기체의 제작 및 시험의 임무나 정밀측위, 기상측정 등의 특수 목적의 임무를 수행하기도 하지만 대부분 일정 영역에 대한 영상 취득을 목적으로 하는 경우가 많다. 광학(EO, Electro-Optic)센서, 적외선(IR, InfraRed)센서, 다분광(MSI, Multi-Spectral) 등의 정지영상 또는 동영상이 주로 사용되고 있다. 취득된 영상은 장착된 저장매체에 저장되어 비행 후 수작업을 통해 비행정보와 결합하여 사용한다. 부분적으로 일부 상용 드론의 경우 조종기를 통해 스트리밍용으로 압축된 영상이 스트리밍되기도 한다.

DNA+드론의 경우, 정지영상 이미지 파일을 위한 사실상의 표준 메타데이터 규격으로 활용되고 있는 Exif를 EO/IR/MSI 정지영상 센서 데이터의 메타데이터 규격의 기본으로 삼고 드론의 다른 임무센서에서 제공되는 기체/센서의 위치, 자세, 시간, 규격 정보 등을 추가 정의함으로써 기존 정지영상 데이터 기반 서비스와의 호환성을 유지하고 드론 임무에 적용될 수 있도록 하였다.

디지털 영상 취득장치를 통해 얻는 정지영상은 다양한 메타데이터 형식을 사용하고 있으나 Exif (Exchangeable image file format)가 사실상의 표준으로 통용되고 있다. Exif에서 정의되지 않은 규격은 XMP (Extensible Metadata Platform)과 결합하여 사용된다. 이 규격은 JPEG, TIFF, PNG 등에 적용될 수 있으며 대부분의 드론용 영상센서에서는 압축영상에 대해 JPEG, 비압축영상에 대해 TIFF를 사용한다.

표 1. 드론 센서 데이터 표준의 기존 표준(Exif, MISP)과의 메타데이터 항목 비교

	Exif	비행정보	EO 정지영상	IR 정지영상	MSI 정지영상	MISP	EO 동영상
시간 정보	O	O	O	O	O	O	O
센서 규격 정보	O	-	O	O	O	O	O
화각	△ (계산)	-	O	O	O	O	O
영상 정보	O	-	O	O	O	O	O
영상점지리참조정보	-	-	O	O	O	O	O
위치/자세 정보	△	O	O	O	O	O	O
기체 위치	O	O	O	O	O	O	O
기체 자세	-	O	O	O	O	O	O
센서 위치	-	O	O	O	O	O	O
센서 자세	-	O	O	O	O	O	O
적외선센서 및 영상 정보	-	-	-	O	-	-	-
분광 센서 및 영상 정보	-	-	-	-	O	-	-
임무 정보	-	-	O	O	O	O	O
서비스 (BM)특화 정보	-	-	O	O	O	-	O

* 출처: 김법균 외 (2022)

일반적으로 동영상에 대한 메타데이터는 그 수요의 크기만큼이나 다양한 방법으로 메타데이터를 연결하여 활용하고 있으나 드론 임무의 특성과는 동떨어진 형식을 취하고 있다. 드론이 획득하는 동영상은 드론의 움직임(위치 및 자세)를 프레임 단위로 비디오 영역의 손실 없이 반영해야 하며 실시간 스트리밍으로 인한 비디오 프레임과 메타데이터 프레임간 매핑이 흐트러지지 않도록 지원해야 한다. 기존 방송용 영상기록물의 저장 및 검색을 위한 메타데이터 표준(MPEG-7, EBU/SMPTE, P/META, TV-Anytime, DMS-1 등)이나 장면 기반 메타데이터 규격 등은 이러한 요구사항을 충족시킬 수 없다. MISB ST 0601에서는 MPEG-2 TS형식의 컨테이너를 활용하여 비디오 영역에 동영상 스트림을 할당하고 데이터 영역에 동기화된 동영상 프레임의 메타데이터를 할당하여 항공분야 동영상 규격을 정의하고 있다. 이는 드론 동영상 메타데이터 요구사항을 충족하는 규격으로 최근에 이 규격을 활용하여 민간 드론용 동영상 규격으로 표준화가 진행되고 있다.

DNA+드론의 경우, EO 동영상 데이터용 메타데이터 규격[표 1]은 MISP 4.4(Metadata Content)에서 지시하는 항공분야 메타데이터 정의서인 MISB ST 0601 “Unmanned Air System (UAS) Datalink Local Set” 표준을 준용하며, 센서모델을 위한 최소 집합을 제안한 MISB ST 0902 “Motion Imagery Sensor Minimum Metadata Set”을 함께 참조하고 드론 동영상 데이터에 적합한 항목을 선별하여 적용하고 있다. 이 표준에서는 타 동영상 스트림 표준과는 달리 동영상 스트림내 모든 프레임이 개별적인 메타데이터를 가지고 있다. 즉, 모든 동영상 프레임은 정지영상 데이터와 동일한 수준의 메타데이터를 포함하고 있으며 동영상 스트림은 드론 임무 수행과정에서의 연속적인 드론과 센서의 위치 및 자세 변화를 포함한다. MPEG-2 TS 규격을 이용하여 영상 데이터와 메타데이터를 다중화하여 동시에 전송하며 H.264/265 등의 사용 압축 인코딩을 지원하고 메타데이터는 MISB/SMPTE 표준 KLV 형식 인코딩을 활용하여 기존 항공표준과의 호환성을 유지한다.

각 센서 데이터 모델의 메타데이터 항목들은 각 센서 데이터가 취득된 시각 정보를 기록한 시간 정보, 데이터를 획득하는데 사용된 센서의 규격, 데이터의 비디오 영역에 대한 영상 정보, 영상점 지리참조 정보, 데이터 취득 당시 드론 및 센서의 위치/자세 정보, 임무 정보 등의 그룹으로 구성되어 있다.

영상점 지리참조 정보는 영상 내 각 픽셀의 공간정보를 산출하기 위한 기준 정보를 의미하며 드론을 이용한 각종 실시간 서비스에서 활용도가 높을 것으로 기대된다. 드론 및 센서의 위치/자세 정보는 센서 규격 정보와 함께 영상점 지리참조 정보의 계산에도 사용되지만 영상정보의 해석에 주요한 참고자료로도 사용될 수 있다. 임무 정보는 드론에게 할당된 임무에 대한 기초 정보로서 기체/센서의 모델명, 임무 종류 등의 정보를 포함한다. 더불어, 이 표준에서는 서비스별로 서비스에 특화된 정보를 추가하여 활용하는 사례를 기술보고서 형식으로 제공하고 있다.

메타데이터는 영상센서 뿐 아니라 비행제어컴퓨터, 짐벌 등을 포함하는 각종 센서에서 생성되는 정보의 결합으로 만들어지며 같은 시각 또는 근접한 시간대의 정보를 연결 또는 산출하여 수행한다. 메타데이터의 정합(Registration)이 이루어지는 위치(센서, 드론장착 임무컴퓨터, 지상국, 수작업 등)에 따라 정확도가 하락하는 경향을 보인다.

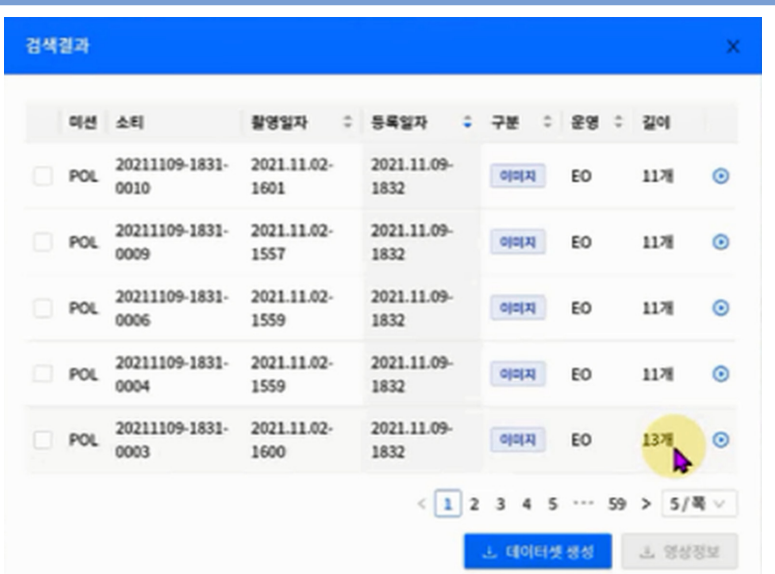
2.4. 드론 센서 데이터 가시화

드론 센서 데이터용 메타데이터 표준을 이용하여 센서 데이터의 실시간 수집 및 데이터베이스화, 공간정보 시각화를 통해 사용성을 증대한다면 활용성을 높일 수 있다.

임무를 수행 중인 다수의 드론에서 생성되는 예측하기 어려운 규모의 데이터를 수신 및 데이터베이스화기 위해 관계형데이터베이스(RDBMS) 대신 빅데이터 플랫폼 구축에 적합한 Kafka와 Druid를 사용하였다. 모든 센서 데이터 스트림은 수집서버에 의해 수신되어 스트림에 포함된 메타데이터를 파싱하여 Kafka를 통해 Druid에 전달되어 데이터베이스로 구축된다. MPEG-2 TS규격으로 전송되는 동영상 데이터의 경우, 일정 간격으로 샘플링된 메타데이터와 원본 스트림이 저장된다.

메타데이터를 이용하여 구축된 데이터베이스를 이용하여 서비스, 임무수행 시각, 센서 종류, 지역 등을 기준으로 센서 데이터를 검색할 수 있다.

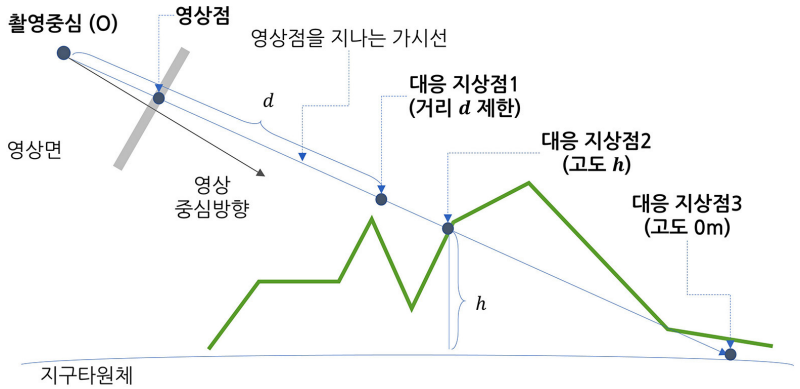
그림 4. 드론 센서 데이터 검색 결과



* 출처: 김법균 외 (2022)

센서 데이터에 내포된 드론 기체와 센서의 공간정보를 시각화하기 위해서는 표준의 영상점 지리참조 정보를 산출하여야 한다. 기체에서 이 정보를 포함하여 전송하지 않은 경우 데이터베이스화 시점 또는 공간정보 시각화 시점에서 이를 계산하여 적용하여야 하는데, [그림 5]는 이 개념을 도식화한 것이다. 이 과정을 거치면, 획득한 영상 데이터의 모서리 픽셀의 GPS좌표가 산출되고 영상 내 모든 픽셀의 좌표를 선형보간법을 통해 간편하게 산출할 수 있게 되어 각종 서비스에 쉽게 활용할 수 있다.

그림 5. 영상점 지리참조 개념도



* 출처: 김법균 외 (2022)

영상점 지리참조 정보를 이용하여 WGS84 좌표계를 이용하는 오픈맵 위에 드론 센서 데이터의 위치와 시각 정보를 표현할 수 있다. [그림 6]에서 사다리꼴 사각형은 우측에서 재생되는 정지영상 또는 동영상의 실제 지도영역을 vworld맵 위에 표현한 것으로 영상내 특정 객체가 탐지되면 즉시 해당 객체의 GPS 좌표를 얻을 수 있다.

DNA+드론에서 개발된 공간정보 시각화 기술은 표준의 검증 및 대중화를 위해 웹기반으로 개발하였으며 실제 전문가용 시스템을 구축할 때는 웹기술의 제약을 받지 않도록 해당 기술을 활용한 전용 클라이언트의 개발이 선호된다.

그림 6. 드론 센서 데이터의 공간정보 시각화

* 출처: 김법균 외 (2022)

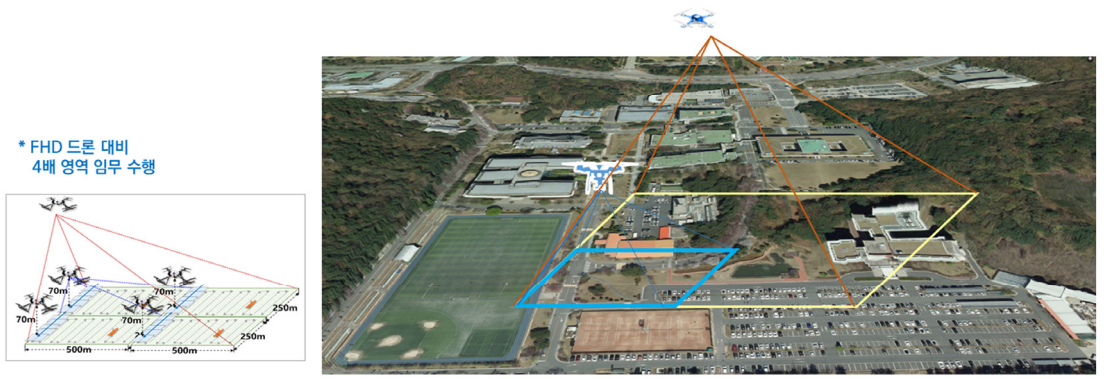
III. 드론 전용 Network

3.1. 드론 통신 개요

우리가 사용하는 휴대폰을 위한 이동통신 기술이 드론 통신을 위해서도 매우 유용할 것으로 기대하고 있다. 대표적인 이유가 이동통신을 사용할 경우, 대역폭이 넓고 셀간의 핸드오버가 가능하여 통신 커버리지가 커어 비가시권 비행이 가능하다는 점일 것이다. 5G 종주국으로서 드론 활용 서비스를 위해 드론을 위한 상공 통신 기술이 개발된다면 글로벌 시장 개척에도 우리나라가 매우 유리할 것이다.

LTE 대역폭은 FHD (1Kbyte) 영상 송신이 가능하고 5G는 UHD(4Kbyte)가 가능하다. [그림 7]의 드론에서 영상 임무 데이터를 활용하여 실종자 수색을 한다고 할 때, 5G의 경우 드론 촬영 시간을 4배로 줄일 수 있다. 이는 드론의 비행시간의 한계도 극복할 수 있는 측면이 있으며, 5G 통신을 활용하면 임무 데이터를 실시간으로 지상으로 보낼 수 있어, 인명을 구하는데 있어 골든타임을 준수할 수 있다.

그림 7. LTE vs. 5G 비교



* 출처: 임채덕 외 (2022)

드론에 5G 통신을 적용할 때 일반적인 사용과 다른 몇 가지 특징이 있다. 첫째, 휴대폰 사용자 중심의 이동통신에서는 다운로드를 주로 사용하기 때문에 업로드보다 다운로드에 주파수를 많이 할당한다. 그러나 드론은 획득한 임무/센서 데이터를 서버로 전송해야 하기 때문에 기지국의 주파수를 조절하여 업로드 용량이 많도록 해야 한다.

그림 8. 드론 데이터 유형에 따른 필요 통신 품질

서비스 유형에 따른 Data Rate	범주	최저속도
	컨트롤, 저전력 전송	200Kbps
	1080p	4Mbps
	4K HD	15Mbps
	8K FHD	60Mbps
	AR/VR	60Mbps이상

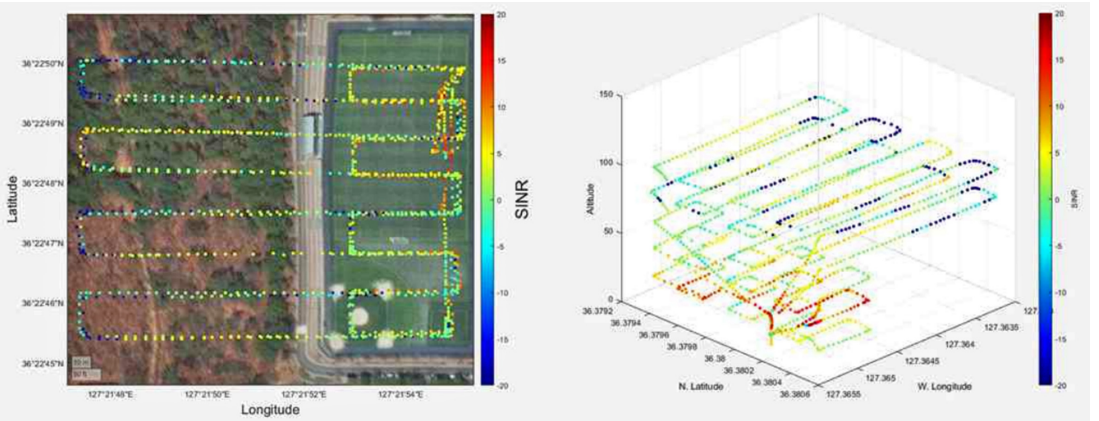
지연시간 (latency)	범주	최저속도
	이미지/비디오 전송	< 40ms
	실시간 컨트롤	< 20ms

* 출처: 정양재 외 (2022)

둘째, 데이터의 종류에 따라 통신 요구 품질을 다르게 해야 한다. 드론의 제어 명령은 무엇보다 중요한 데이터이지만 다운링크를 사용하기 때문에 주파수 자원의 할당이 적을 수 있지만, 안정적인 비행을 위해 최우선적으로 통신이 제공되어야 한다. 4K 고품질 데이터의 경우에는 대용량의 데이터 통신이 지원되어야 한다. [그림 8]과 같이 데이터 성격에 따른 요구 통화품질이 달라지므로 각각에 맞는 QoS가 제공되어야 한다.

셋째, 일반적으로 기지국은 지상에 위치한 사용자에 집중하여 전파를 하향식으로 전송한다. 그러나 드론은 고도 150미터 이내에서 동작하기 때문에 현재의 기지국 형상으로는 드론에 안정적인 통화품질을 제공하기 어렵다. 100미터 이상 드론이 상승할 경우 급격한 통신 저하가 발생한다. [그림 9]는 상용 5G망의 통신품질 분석한 결과이다. 한국전자통신연구원의 운동장 지역으로 5G가 지원되는 영역이지만, 고도에 따라 통신 성능이 달라지는 것을 확인할 수 있다. 고도가 높아지면 통신 품질이 저하되어 영상 전송이 어려워지고, 핸드오버도 자주 발생하여 갑작스런 통화품질 저하도 발생한다.

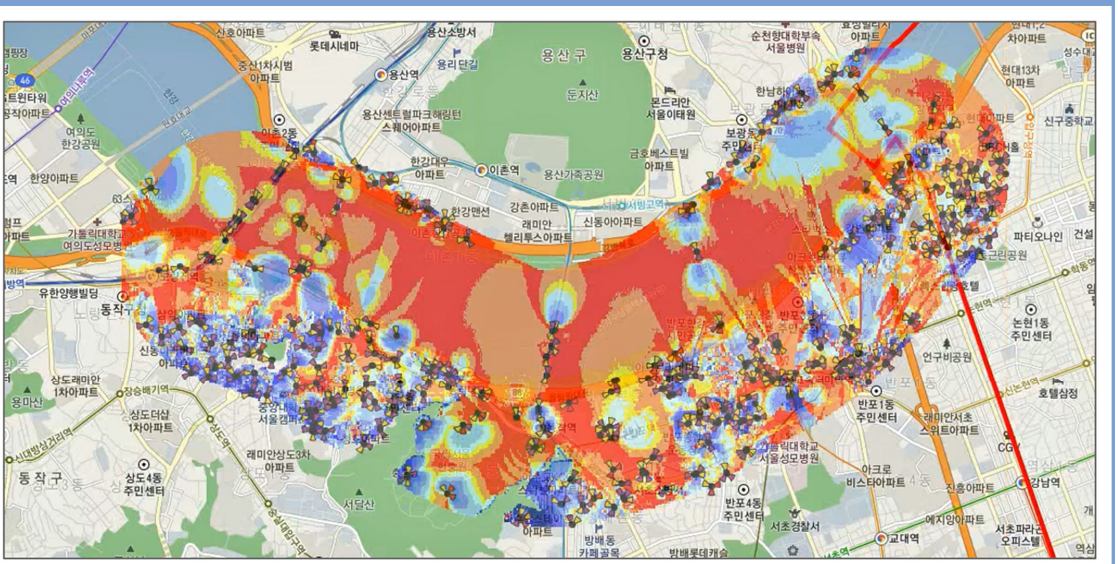
그림 9. 고도 상승에 따른 이동통신 품질 저하



* 출처: 정양재, 전현철 외 (2022)

[그림 10]은 SKT에서 드론 또는 UTM을 대비하여 상공의 통신품질을 측정하고 분석한 내용이다. 향후 드론 및 UTM을 위한 전용 통신서비스도 가능하다.

그림 10. 비가시권 비행을 위한 상공 품질 분석



* 출처: 정양재, 전현철 외 (2022)

3.2. 5G 드론 참조 사례

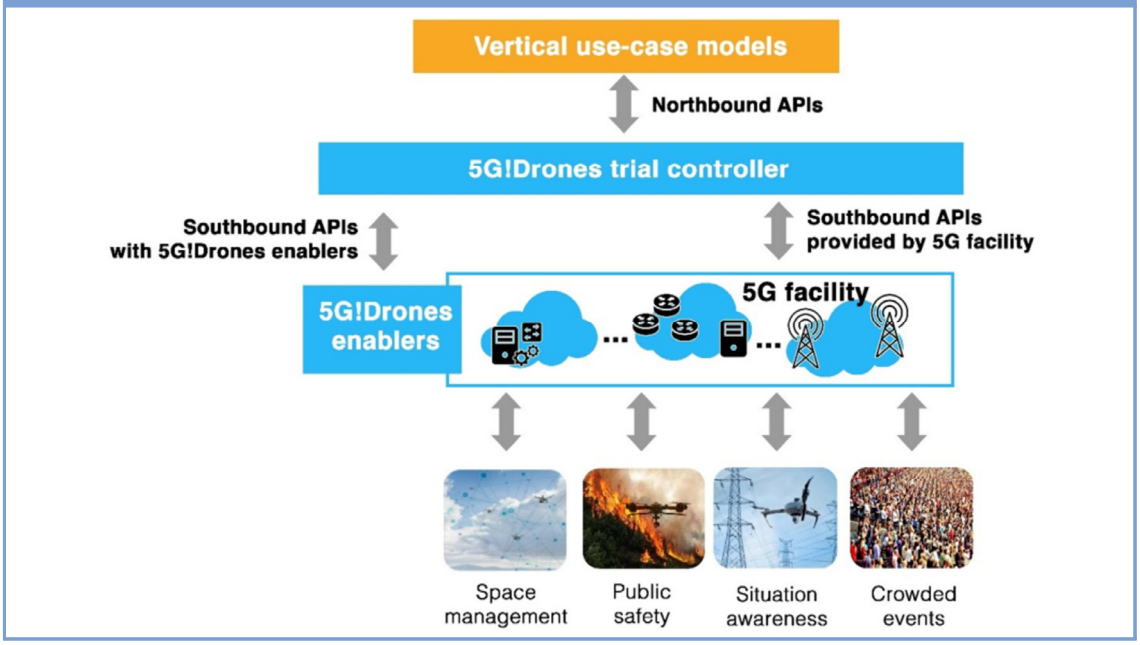
유럽 연합에서 추진하고 있는 호라이즌 2020 연구프로젝트에서는 5G를 기반하는 미래 드론 서비스의 사용사례를 발표하면서 초고속, 초연결, 초저지연 특성의 갖는 5G 기술을 드론에 적용하여 다양한 실시간 서비스의 가능성을 연구하고 있다. SKT에서는 드론 시장 확대를 예상하고 드론 통신 관리 체계의 필요성과 향후

UTM까지 고려하여 통신사의 역할을 추진하고 있다.

호라이즌 2020으로 추진하고 있는 5G!Drones에서는 5G 버티컬 산업 후보 중 하나로 드론을 선택하고, 5G를 활용하는 다양한 사용사례에 대한 분석 및 실증을 진행하고 있다. 5G!Drones의 목적은 초고속/초연결/초저지연을 특징으로 하는 5G 기술을 드론 서비스에 활용하기 위한 다양한 사용사례를 도출하고 도전적인 5G 목표를 수립 및 서비스 실증하여 5G 핵심성과지표(KPI)를 증명하기 위한 것이다.

5G!Drones에서는 다양한 드용 사용사례를 통해 5G의 eMBB, URLLC, mMTC의 5G 서비스를 증명하며, 드론의 임무/센서 데이터의 구분에 따라 필요한 통신 성능을 제공하기 위해 네트워크 슬라이스 개념을 사용한다. 5G!Drones는 다른 프로젝트로 개발한 5G 인프라를 활용하여 실제 드론 사용사례를 설계하고 구현하는 것까지 포함한다.

그림 11. 5G!Drones 프로젝트의 개념도



* 출처: Horizon2020 (2019)

5G!Drones에서는 드론의 움직이는 특성을 반영하기 위해 셀 간 이동을 지원하는 방법과 새로운 드론 시나리오의 실현을 위해 LTE 및 5G 통신의 개선 사항을 실험했으며, 포그 컴퓨팅 또는 엣지 컴퓨팅의 개념을 통해 네트워크와 컴퓨팅 환경을 통합하는 방법을 실험하였다. 데이터 및 네트워크 특성에 맞춘 제어 흐름 등을 통해 다양한 방법으로 네트워크를 개선하는 실험을 수행했다. [그림 11]과 같이 5G!Drones는 크게 3개의 부분으로 구분된다. 5G 기지국 등 5G 통신 기능을 제공하는 5G 시설(5G Facility)이 있으며, 5G 시설의 API를 사용하여 5G 시설을 동작시키는 소프트웨어 계층인 5G 실험 제어기(5G Trial Controller)가 있고, 드론 서비스를 정의하고 필요한 5G 속성 등을 정의한 드론 버티컬 사용사례 모델이 있다.

5G!Drones에서는 대표적인 4가지 사용사례를 정의하고 실험하였다. 각 사용사례에 대한 내용 및 주요 기능은 다음과 같다.

□ 사용사례 1: UAV 교통 관제

- 드론 운행 고도의 운행하는 드론 교통 관제
- 날씨, 항공 교통, 드론 등록 등에 대한 실시간 정보를 제공하는 종단간 서비스 제공
- 공공 보안 및 안전 문제, 개인정보 문제, 사이버 공격에 대한 취약성 등 문제 해결 필요

□ 사용사례 2 : 공공 안전 및 인명 구조

- 지진, 홍수, 산불 등 대규모의 재난 시 고해상도 영상 촬영 및 삼차원 공간 매칭 수행
- 가장 큰 피해 예상 지역을 식별하고 구호 활동을 돕기 위한 실시간 데이터 확보
- 군집 드론으로 넓은 영역을 빠르고 효과적으로 탐색

□ 사용사례 3: 시설 상황 인지

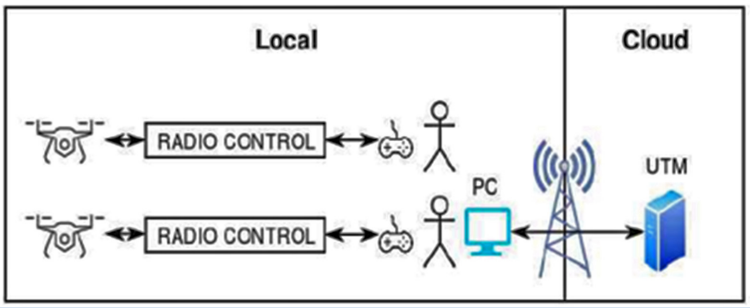
- 스마트 시티 및 스마트 농업을 위한 사물 인터넷(IoT)과의 관련성 파악
- 오직 하늘에서만 전달할 수 있는 새로운 형태의 IoT 장착 드론 서비스 제공
  - HD 카메라, 가스 센서, 습도센서, 온도 센서 등 사용
  - 온보드 장치를 통해 부가가치 서비스 제공
  - 무선 네트워크를 통해 판독 값 자동 전송을 위한 네트워크 기능 장착 센서 적용

□ 사용사례 4: 혼잡 지역의 연결성 확보

- 축구 경기, 대규모 집회 등 혼잡 지역의 경우 갑작스러운 통신 요구로 품질 저하 발생
- 5G 스몰셀 장착 드론으로 통신 커버리지 확대, 혼잡 지역 일시적인 품질 저하 문제해결
- 드론이 대규모 인원 위에 비행할 수 있기 때문에 신뢰성 높은 드론 비행 필요

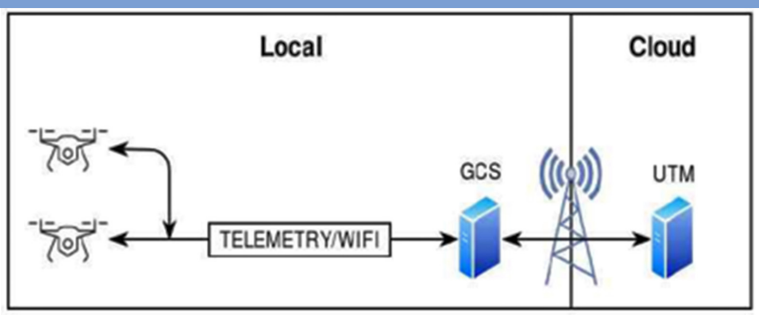
5G!Drones 프로젝트에서는 [그림 12~15]와 같이 드론에 비행 명령을 내리는 방법에 따라 특화된 5G 연결 통신 구조를 실험했다. 다른 드론과 관제 정보를 공유하기 위해 드론 비행 정보를 UTM에 계속 저장할 경우, 수동 비행 또는 자동 비행 등에 따라 5G 연결 구조를 다르게 하는 것이 좋다. 드론을 수동으로 비행하면서 관련 데이터를 클라우드에 저장하는 경우, 드론을 경로 계획에 따라 자동으로 조정하면서 관련 정보를 클라우드에 전송하는 경우, MEC를 통해 드론데이터를 분석한 후 분석 결과를 클라우드에 전송하는 경우 등 다양한 통신 구조를 선택할 수 있다.

그림 12. 수동비행 이동통신 구조



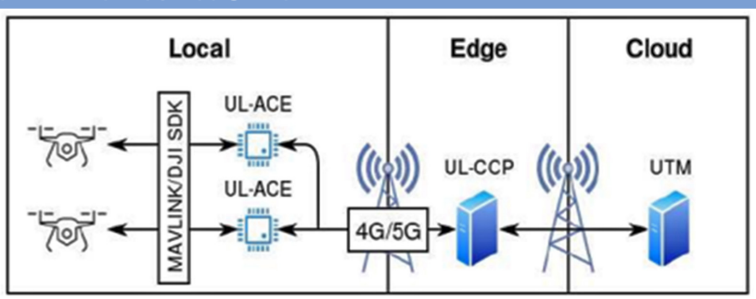
* 출처: Horizon2020-5G!Drones (2019)

그림 13. 반 자율비행 이동통신 구조



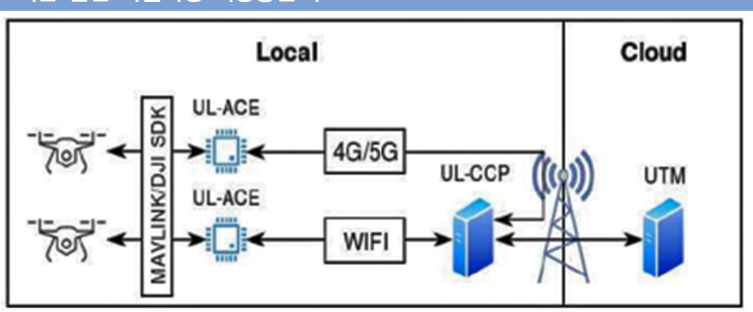
* 출처: Horizon2020-5G!Drones (2019)

그림 14. MEC 기반 완전 자율비행 이동통신 구조



* 출처: Horizon2020-5G!Drones (2019)

그림 15. 클라우드 기반 완전 자율비행 이동통신 구조



* 출처: Horizon2020-5G!Drones (2019)

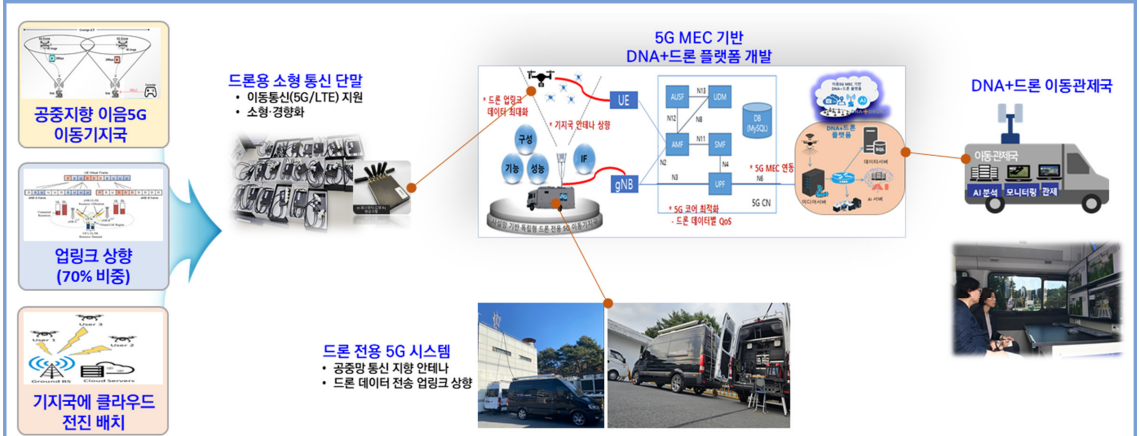
3.3. DNA+드론 참조 사례

대표적인 드론 서비스 중 하나로 실종자 수색을 들 수 있다. 5G!Drones에서도 지진, 홍수, 산불과 같은 경우 드론을 활용한 공공안전 서비스를 추진하고 있다. 그런데 5G 통신이 전국 상용 서비스가 지원되지 않는 상황이어서 실종자 수색이 필요한 지역은 인적이 드문 지역으로 5G 음역지역일 확률이 높다.

앞에서 기술한 업링크 용량 확대의 필요성, 드론 제어 명령의 즉시성과 4K 고품질 대용량 전송 등 데이터 형태에 따른 요구 통신품질, 고도 상승에 따른 통신품질 저하, 상용망이 지원되지 않는 지역 등의 문제점을 해결하지 않으면 5G 기반 드론서비스를 제공하기 어렵다. 그에 대한 해결책으로 對드론 통신 및 MEC 기반 초저지연 네트워크 기술을 이동기지국으로 구현하는 방법이 있다.

DNA+드론에서는 [그림 16]과 같이 6Ghz 이하의 사설망을 기반으로 하는 드론 전용 5G 이동기지국을 개발한다. 드론을 향한 상향식 안테나를 사용하고, 5G 코어 내부에 MEC 플랫폼 적용이 가능하다. 드론의 고품질 영상데이터를 기지국으로 전송하면 MEC 플랫폼에 전진 배치된 데이터 서버 및 AI 서버가 데이터를 실시간성으로 분석하여 시간을 다투는 긴급 임무 수행이 가능하다. 또한, 5G특화망/상용5G를 모두 사용할 수 있는 드론통신 단말을 제공한다. 업로드 통신 속도를 100Mbps 이상으로 상향 조정한다. 드론 전용 5G 이동기지국은 통신 음영지역에서도 드론 임무 수행이 가능하도록 안정적인 상공 통신 환경 제공이 가능하다. 5G MEC 기반 이동형 관제국에 클라우드 서버를 전진배치하여 이동기지국과 함께 사용하면 성능면에서 더욱 효과적이다.

그림 16. DNA+드론 전용 통신 구성도



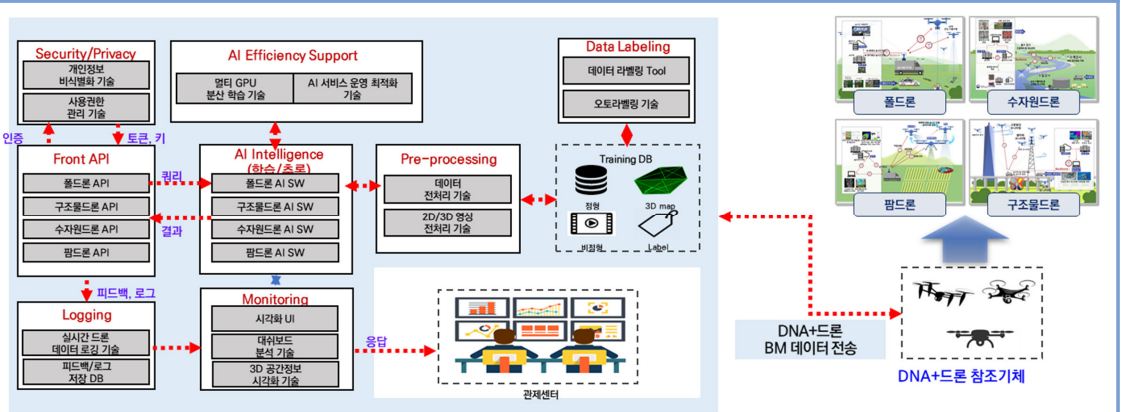
* 출처: 정양재 외 (2022)

IV. 드론 AI

4.1. 드론 AI 서비스

[그림 17]은 드론 AI 서비스 플로우와 세부 기술 요소들을 보여주고 있다. 폴드론(실종자 수색), 구조물 드론, 수자원 드론, 팜드론 등 드론을 활용하고자 하는 비즈니스 모델(BM)에 따라 인공지능 API가 호출되어 드론 AI 서비스가 실행되어 추론 결과가 나오면 그 결과는 로깅과 함께 BM 모니터링 UI를 통해 가시화 된다. 학습 시에는 개인정보 보호를 위한 블러링 등 데이터 전처리 및 자동 라벨링이 이루어지며 AI 처리 속도를 높이기 위한 멀티 GPU 분산 학습 기술, 병렬 처리 및 최적화 기술들이 지원되어야 한다.

그림 17. 드론 AI 기술 요소 및 서비스 플로우



* 출처: 고의열 외 (2022)

4.2. 드론 AI의 도전적 기술 이슈

실종자 수색, 구조물 크랙 탐지 등을 위한 드론 임무 데이터 즉, EO/IR 영상을 AI를 통해 분석하는데 있어서, 드론이 5G망을 통해 실시간으로 보내주는 4K급 이상의 고화질 영상을 얼마나 빠르게 분석해 낼 수 있느냐가 가장 중요한 기술적 과제이다.

최근 CNN이 기존의 연구들에 비해 월등한 성능을 보여주었으며, 이후에는 CNN을 기반으로 하는 딥러닝을 이용한 객체 인식이 주류가 되었다. 이후, 인식률 개선을 위해 네트워크를 더 깊게 구성하는 방향으로 연구가 진행되었으며, CNN 기반이 아닌 구글의 Transformer를 기반으로 한 Vision Transformer가 등장하여 새로운 연구들이 진행 중이다.

이런 딥러닝을 이용한 객체 인식에 관한 연구들이 고화질 드론 영상 분석에 이용되기에는 그 한계점이 명확하다. 첫째 딥러닝은 대단히 많은 연산을 통해 이미지를 분석하게 되며, 이 때문에 더 높은 정확도를 얻어낼 수 있게 되지만, 반대로 고화질 드론 영상을 실시간으로 분석하기 위해서는 대규모의 분석을 위한 GPU 등 컴퓨팅 자원이 많이 필요하게 되어, 고화질 영상일수록 분석을 위해 들어가는 비용이 기하급수적으로 커지게 된다. 둘째 고화질

드론 영상의 경우, [그림 18]과 같이 검출하고자 하는 객체의 크기가 영상의 크기에 비해 대단히 작으며, 이는 기존의 딥러닝을 이용한 객체 인식 모델들이 학습하는 데이터와 차이가 크기 때문에 기존 모델들을 그대로 사용하기는 힘든 상황이다.

그림 18. 그림 24 드론영상의 객체인식을 통한 실종자 수색 예시

* 출처: 고의열 외 (2022)

고화질 드론 영상을 실시간으로 분석하기 위해서 우선 딥러닝 신경망 자체의 "연산을 경량화"하여 연산의 수를 줄여 적은 자원에서도 실시간성을 보장하는 기술들이 연구되고 있다. 고화질 드론 영상을 실시간으로 분석하기 위한 다른 방향의 연구는 딥러닝의 "신경망을 간소화"하여 연산의 양을 줄이는 방법이다. 앞서 언급된 대로 객체 인식의 연구 방향이 딥러닝의 신경망을 더욱 깊게 만들어 인식률을 향상하는 방향으로 진행되었으나, 이런 연구들은 실시간 분석에는 적당하지 않기 때문에 인식률의 감소를 최소화하면서 신경망을 간소화하는 방향의 연구들이 고화질 드론 영상을 실시간으로 분석하기 위해서는 적합하다. 마지막은 "모델 경량화"를 통한 추론 속도 향상이다. 딥러닝 모델의 정확도 손실을 기존 모델 대비 최소화하면서 모델 크기와 연산량을 크게 줄임으로써 요구되는 메모리, 에너지, 연산량 등 여러 면에서 추론의 효율성을 높이는 방법이다. 이런 방식은 크게 가지치기(pruning), 양자화(quantization), 지식 증류(knowledge distillation), 그리고 경량 네트워크 설계 (compact network design) 4가지로 요약할 수 있다.

한편, DNA+드론의 제한된 리소스를 가진 온보드 상에서의 비전 기반 Mapless 비행제어, LiDAR 기반 정적/동적 장애물 회피 비행 제어를 통해 드론의 비행 안전성을 높일 수 있다. [그림 19]는 DNA+드론에서 개발된 기술을 보여주고 있다.

그림 19. DNA+드론의 자율비행 기능

* 출처: DNA+드론기술개발사업단 (2023)

V. DNA+드론 플랫폼 및 개발 방법론

5.1. DNA+드론 플랫폼 철학

지금까지 2, 3, 4장을 통해 드론 데이터, 드론 전용 통신, 드론 전용 AI 기술에 대해 살펴보았다. DNA+드론 플랫폼은 이들 기술의 결합 및 연결을 통해 지능형 드론 서비스 BM 개발의 용이성을 제공하고, 지속적으로 진화할 수 있는 참여, 확장, 공유의 철학을 가지고 출발한 연구 시작품이다.

저고도 드론 데이터의 국제 표준화, 5G 드론을 통한 표준 데이터 수집, 저장, 관리, 매핑, 4K 이상의 고화질 임무 영상 메타데이터 정합 및 실시간 스트리밍, 실시간 스트리밍 받은 영상 속의 객체 탐지, BM 모니터링 UI를 통한 웹 기반 시각화, 웹 기반의 군집 드론 3D 관제, 5G 특화망 기반 드론 전용 이동기지국, 5G MEC 기반의 이동관제국, 표준 데이터 활용 서비스 개발 표준, 기체 안의 미션 컴퓨터 표준까지를 아우르는 원스탑 서비스 플랫폼이다.

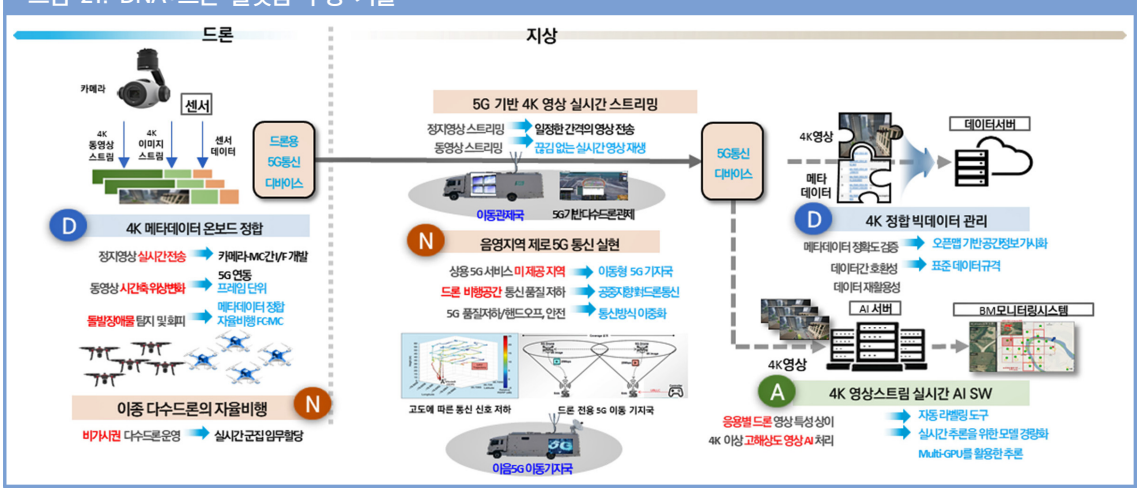
또한, 일반 사용자도 휴대폰 등을 활용하여 드론 데이터를 업로드할 수 있는 앱 제공 및 업로드하려는 데이터가 표준에 부합하는 지 체크하는 도구까지를 포함해야 지속가능한 플랫폼으로 발전 가능할 것이다. [그림 20]은 참여

확장이 가능한 DNA+드론 플랫폼 개념을 보여주고 있다. 챌린지의 경우는 사업의 중간 결과물들을 대국민에 공개하여 기술을 검증할 뿐만 아니라, 챌린지 참여원의 부산물, 예를 들어 증강 데이터 등을 플랫폼에 공개함으로써 연구 과제 결과물의 완성도를 높이고 사용자가 플랫폼을 경험함으로써 플랫폼 생태계를 구축해 나아가는데 선순환의 고리가 될 수 있어서 긍정적인 효과가 크다.

그림 20. 확장 참여형 DNA+드론 플랫폼 개념도

* 출처: 임채덕 외 (2022)

그림 21. DNA+드론 플랫폼 구성 기술

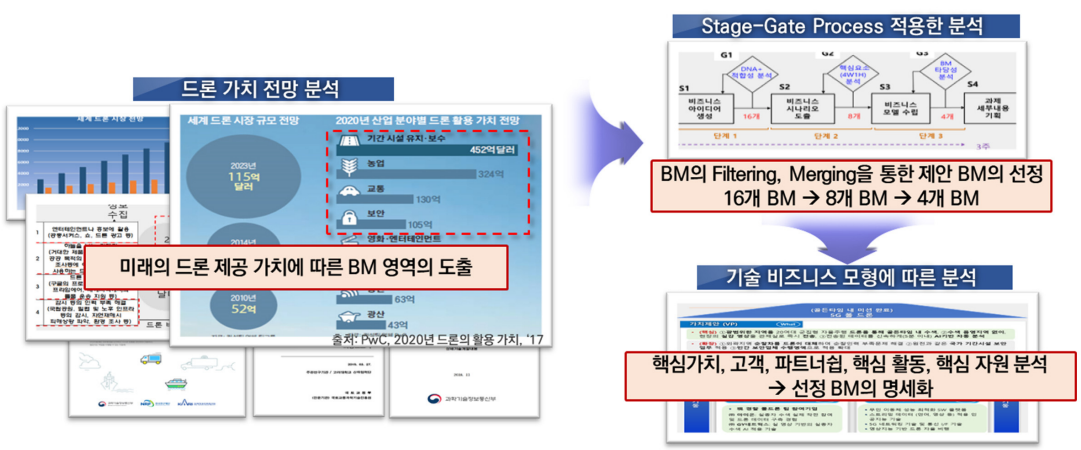


* 출처: 임채덕 외 (2023)

5.2. DNA+드론 BM 선정 프로세스

DNA+ 드론 R&D 프로젝트는 새로운 기술에 대한 개발뿐만 아니라 개발된 기술을 적합한 유망 공공서비스에 적용하여 성공적으로 실증해야 하는 정부 주도 프로젝트이다. 따라서 기술 개발 내용을 세부적으로 기획하기에 앞서 문제의 본질을 살펴보고 프로젝트의 목적과 필요에 맞는 해결책을 도출할 필요가 있었다. 구체적으로, ETRI의 포괄적인 프로젝트 라이프 사이클 관리 체계, Stage-Gate 모델을 활용하여 문제를 정의하고 기술적 해결책의 실현 가능성을 검토했다. 기술 사업 모델은 프로젝트 목적과 문제 해결에 적합한 효과적인 기술 개발 계획을 도출하기 위해 채택되었다.

그림 22. DNA+드론 BM 선정 프로세스



* 출처: 송영근 외 (2020)

비즈니스 모델 선정은 [그림 22]에서 보이는 바와 같이 최초 109개에서 출발하여 내부적으로 드론의 미래 가치 전망 분석을 통하여 16개 도출, Stage-Gate 프로세스를 적용하여, 16개, 8개로 좁혀서 영향력이 큰 경찰, 구조물, 수자원, 농업 분야 4개를 선정하였고, 각 분야에 대하여 본 사업에서는 폴 드론, 구조물 드론, 수자원 드론, 팜 드론으로 명명하였다.

R&D사업의 특성을 고려하여 BMC(Business Model Canvas)를 변형한 기술사업모델을 제시하였다. 이 기술사업모델은 BMC에 비해 다음의 세 가지 특징을 가지고 있다. 첫째, 5개의 빌딩블록으로만 구성된 보다 단순화된 형태이다. 둘째, 기술에 대한 가치제안을 제공하기 위해 수요와 협력에 대한 두 블록과 실행과 역량에 대한 두 블록으로 지원되는 구조화된 형태이다. 셋째, 세 가지 빌딩블록에 대해 R&D 기관과 소비자 관점에서 기술된 계층적 형태이다.

DNA+드론 프로젝트는 5G와 AI 기술을 기반으로 DNA+ 드론 서비스를 발굴하고 구체화하고, 미래 드론을 위한 새로운 기술을 개발하고 새로운 개념의 공공서비스를 보여준다. 따라서 사업의 목적에 맞게 요구와 문제를 해결할 수 있는 사업 시나리오와 모델을 도출하는 것이 필요하다. 이를 DNA+드론에 단계별로 적용하면 다음과 같다.

[1단계] 사업 아이디어 창출 및 DNA+ 적합성 테스트

미국 NSF(National Science Foundation) 및 EU R&D 과제와 한국의 무인기 기술 로드맵 적용 시장의 주요 사례를 중심으로 DNA+드론에 적합한 시장을 중심으로 사업 아이디어를 도출한다. DNA+ 적합성 테스트는 다음 기준에 따라 수행되었다.

- 기준 D: 보이지 않는 영역, 여러 대의 자율 조종 드론을 통한 데이터 수집
- 기준 N: 5G를 통한 대용량/고화질 실시간 데이터 전송
- 기준 A: 인공지능을 통한 실시간 데이터 분석/처리 솔루션

[2단계] 사업 시나리오 도출 및 핵심 요인 분석

기술적 특성과 사업적 영향을 고려하여 사업 시나리오를 도출하였다. 기술적 특성을 고려하여 인력 부족을 해소하고, 공적 목적으로 조사할 주요 타겟을 설정하였다. 산업별 시장 전망 자료를 참조하여 사업적 영향이 큰 분야를 선정하였다. 핵심 요인 분석은 다음의 4W1H 질문을 고려하여 수행하였다.

- Who: 누구에게 봉사할 것인가?
- What: 어떤 가치를 제공할 것인가?
- How: 어떻게 가치를 창출할 것인가?
- Where: ETRI 컨소시엄은 왜 하는가? 차별화의 원천은 무엇인가?
- Why: 위의 Who/What/How/Where에 대한 종합적 분석

[3단계] 사업 모델 수립 및 전문가 평가

송의 모델을 활용하여 도출된 사업 시나리오에 대해 8개의 사업 모델을 수립하였다. 그리고 산학연계 전문가 12인이 NABC 방식을 고려하여 평가를 거쳐 최종 4개의 사업 모델을 선정하였다. 5G 경찰 드론에 대한 선정된 사업 모델은 [그림 23, 24]와 같다.

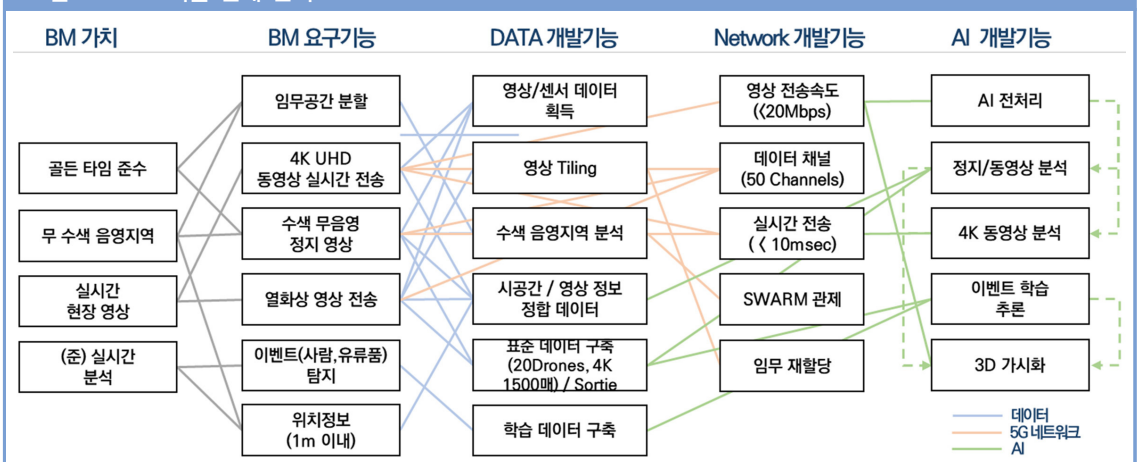
[4단계] 세부 프로젝트 내용 계획

4년 프로젝트의 세부 내용을 논의하고 완료했다.

그림 23. 기술 비즈니스 모형 기반 타당성 검토

* 출처: 송영근 외 (2020)

그림 24. BM 기술 관계 분석

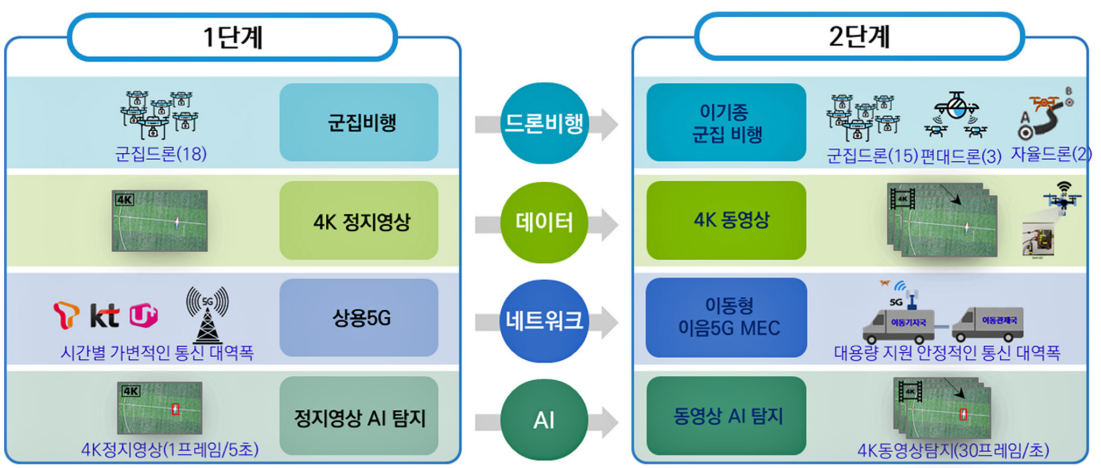


* 출처: DNA+드론기술개발사업단 (2020)

5.3. DNA+드론 플랫폼 적용 실증

DNA+드론의 주요 기술 결과물들을 5G 통신 기반 4K 영상 실시간 메타데이터 정합 및 스트리밍, 실시간 데이터 수집 및 가시화, AI 분석 및 BM 모니터링 및 5G 기반 3D 관제 기술을 폴 드론 BM(Business Model)에 적용한 사례를 소개한다. 폴 드론 BM은 다수 드론(최대 20대 이종 군집 드론)이 고도 30 ~ 70m 상공에서 비행하며 실종자 수색의 미션을 수행하는 BM을 말하며, 드론과 지상 간의 통신은 5G 통신으로 진행하였다. 주요 실증 범위를 요약하면 [그림 25]와 같다.

그림 25. DNA+드론의 단계별 실증 범위



* 출처: DNA+드론기술개발사업단 (2023)

맺음말

DNA+드론과 같은 첨단 ICT 융합 플랫폼은 단순한 기술적 진보를 넘어, 사회적·산업적 변화를 촉진할 수 있는 핵심 도구로 자리 잡을 것이다. 이에 대한 체계적인 이해와 전략적 접근이 앞으로의 산업 경쟁력을 좌우할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부(현,우주항공청 이관)의 재원으로 한국연구재단, DNA+드론기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음(No. NRF-2020M3C1C2A01080819).

또한, 본 사업에 참여하신 ETRI 에어모빌리티연구본부 정양재 책임연구원, 김법균 박사, 윤재관 박사, 우덕균 박사, 이병복 박사, 이문수 센터장, 김경일 책임연구원, 김영빈 박사, 임유진 박사, 차정은 박사, 유동완 박사, 오봉진 박사, 이병선 실장, ETRI 기술정책연구소 송영근 실장 등 동료 여러분에게 감사를 드립니다.

저자소개 **임채덕** (Chaedeok Lim)

• **학력**
충남대학교 전산학 박사

• **경력**
現) 한국전자통신연구원 에어모빌리티연구본부장
現) DNA+드론기술개발사업단장
現) 대한임베디드공학회 부회장

참고문헌

1) 임채덕, “DNA+드론 플랫폼 기술,” https://www.youtube.com/watch?v=7Mdh6c1Z8QQ&t=56s, YTN 사이언스, 2022.
2) 임채덕, “DNA+드론 플랫폼 기술 개발 및 표준화 현황,” https://www.youtube.com/watch?v=-i-aTE-Uiok, 글로벌 ICT 표준 컨퍼런스, 2023.
3) 김영빈, 신진아, 김법균, 임채덕, “영상 촬영 드론의 실시간 온보드 메타데이터 정합을 위한 시스템 설계”, ISET2021, pp.102-104.
4) 김법균, 김영빈, 임채덕, “드론 임무센서 데이터 표준 및 웹기반 공간정보 시각화 기술”, 한국통신학회지, 2022.
5) Horizon2020-5G!Drones, “D1.1 – Use case specifications and requirements”, 2019.
6) 정양재, 전현철, 임채덕, “5G 통신과 드론 ICT 융합 플랫폼”, 한국통신학회지, 2022.
7) 고의열, “고화질 드론 영상 인공지능 기반 실시간 분석 기술 연구 동향, 한국통신학회지, 2022.
8) Y.K. Song, C. Lim, “A Successful Project Planning Using ETRI’s Comprehensive Project Life-Cycle Management System and Technology Business Model”, 한국콘텐츠학회 ICCC 2020, pp. 267-268.
9) Song, Y. Business Model Analysis for 5G, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Feb. 2019.

융합연구리뷰
Convergence Research Review
2024 December Vol. 10
No. 12

융합정책

국내 연구기관의 DARPA형 PM제도 도입 가능성 : KIST 임무중심 연구소 사례 및 시사점

구 병 석
한국과학기술연구원 기술정책연구소 선임연구원

국내 연구기관의 DARPA형 PM제도 도입 가능성 : KIST 임무중심 연구소 사례 및 시사점

구 병 석 (한국과학기술연구원 기술정책연구소 선임연구원)

I. 서 론

최근 OECD를 중심으로 임무지향 혁신정책(Mission-oriented Innovation Policy)에 대한 중요성이 크게 강조되고 있다. 임무지향 혁신정책의 핵심은 기후변화, 신재생에너지, 디지털 전환, 팬데믹 대응 등 국가적으로 해결이 필요한 도전적인 문제, 즉 임무를 설정하고 R&D를 포함한 다양한 정책 수단을 결합하여 이를 해결할 수 있는 혁신 생태계를 구축하는 것이다. 국가 주도의 목표 지향적 방식을 취한다는 점에서 임무지향 R&D는 전통적으로 국방, 우주개발 등 거대과학 분야에서 활용됐으나, 오늘날에는 여러 사회 부문이 복잡하게 얽힌 대형 난제를 해결하기 위한 전략으로서 많은 주목을 받고 있다.

임무지향 혁신정책의 한 축을 담당하는 것은 도전적인 문제 해결에 집중하는 고위험·고난도 R&D 지원체계다. 실패 위험이 매우 크지만 성공할 시 막대한 파급효과를 낳을 수 있는 문제를 설정하고 기술개발에서 실증, 현실 적용까지 문제해결의 전 과정을 지원하는 것이다. 인터넷, GPS, 스텔스 기술 등 수많은 파괴적·변혁적 기술을 성공시킨 미 국방부 산하 고등방위연구계획국(DARPA)의 운영 모델이 대표적인 사례다.

이러한 DARPA 모델을 적극적으로 도입하여 과학기술 주요국들은 임무 중심형 도전적 R&D에 대한 지원을 크게 늘리고 있는 추세다. 최근에는 독일의 SPRIN-D('19), 영국의 ARIA('22), 미국의 ARPA-H('22) 및 ARPA-I ('23)가 도전적 R&D 전담 기관으로서 새롭게 설치되었으며, 국내에서도 이와 유사한 도전적 R&D 전담 기관의 설립 가능성이 논의된 바 있다.

현재 국내에서는 '혁신·도전형' 국가연구개발사업이 임무 중심 도전적 R&D의 주요 수단으로 자리 잡고 있다.[1] 혁신·도전형 사업군의 공통된 특징으로는 DARPA 모델의 핵심인 PM(Project Manager) 제도 도입을 들 수

1) 과학기술혁신본부는 국가연구개발 사업 중 혁신·도전성이 높은 사업을 '혁신·도전형 사업군'으로 별도 분류하고 있으며, 대표적으로 과학기술정보통신부의 혁신도전프로젝트, 산업자원통상부의 산업기술알키미스트프로젝트, 보건복지부의 한국형ARPA-H프로젝트 등이 있음. 현재는 '혁신·도전형'의 별칭으로 'ARPO(Aim high, Problem solving, Revolutionary, Over&Over)'라는 명칭도 혼용되고 있음.

있다. 도전적인 목표 설정과 과감한 의사결정을 위해 PM에게 기획, 관리, 평가, 확산 등 R&D 관리 전반의 전권을 부여하고, 참여 주체가 실패 위험을 감수하고 도전성을 높일 수 있도록 각종 인센티브와 차별화된 운영 방식을 갖추고 있다.

혁신·도전형 사업군은 국가 R&D 체계의 선도형 전환을 견인할 것으로 기대를 모으고 있으나, 당초 취지와는 달리 차별화된 운영에 한계를 보이고 있다는 지적도 있다. 일반 국가 R&D 사업처럼 실패 판정에 대한 연구자 부담이 여전하며 현장과 부처간의 미흡한 협력과 경직된 감사 제도로 인해 실질적인 PM 권한에 제약이 크다는 게 주된 이유다. 또한 부처 예산사업이라는 특성상, 사업 종료 이후 연구성과 고도화 및 성과확산, 사업관리 경험의 축적에도 많은 어려움이 따른다.

이에 국내 대표 정부출연연구기관(이하 출연(연))인 한국과학기술연구원(KIST)은 PM 제도를 내부에 이식하여 부처 예산사업 형태가 아닌 기관 주도의 임무지향 R&D를 추진할 수 있는 조직체계를 도입했다. '임무중심 연구소'라 명명된 새로운 조직 체계는 KIST 고유의 도전적 임무 달성에 집중하기 위해 기존의 DARPA 모델 및 혁신·도전형 사업의 PM 제도와 유사한 권한을 연구소장에게 부여하고, 도전적 연구에 적합한 다양한 운영 제도를 마련하고 있다. 현재 총 5개 임무중심 연구소가 출범하였으며 각각 양자컴퓨팅, 수소저장·운송, 사회안전로봇, 탄소순환, 천연물신약 분야에서 고유의 임무 달성에 집중하고 있다.

본 원고는 KIST 임무중심 연구소의 설립 배경 및 DARPA형 PM 제도를 근간으로 하는 연구소 운영 원칙을 설명하고, 향후 국가적 임무를 달성할 수 있는 핵심 조직으로서의 성장 가능성을 분석한다. 주요 특징으로는 ① 기획·평가·예산 측면에서 강력한 임무정합성을 지향하고, ② 연구소장이 전담 PM으로서 역할에 집중하며, ③ 연구소 내 전담지원부서를 별도 운영함과 동시에, ④ 조직 운영의 개방성을 추구한다. 앞으로 국내 출연(연)이 임무지향 혁신정책의 중추 기관으로 발전하는 과정에서 KIST 임무중심 연구소가 하나의 참고 모델이 될 수 있길 기대한다.

II. 배경

최근 정부는 국가전략기술 집중 투자, 대형·복합 사회 난제 해결 등 국가적 차원의 임무 달성에 집중하는 방향으로 과학기술 정책의 전환을 추진하고 있다. 특히 국가적 임무 달성을 주도하는 허브 기관으로서 출연(연)의 역할이 크게 강조되는 등 임무지향 R&D 생태계에 대한 논의가 계속되고 있다. 「국가전략기술 육성에 관한 특별법」 제정을 계기로 발표된 국가전략기술 육성 기본계획('24.8)에 따르면 정부는 AI, 첨단바이오, 양자 등 12대 국가전략기술 분야에 향후 5년간 30조원 이상을 집중 투자하고 이러한 전략기술 임무를 출연(연) 중심으로 견인할 새로운 산학연 협력 모델, 국가과학기술연구실(National S&T Lab, NSTL) 체계를 도입할 계획이다.[2)]

한편, 지난 몇 년간 지속 확대되고 있는 혁신·도전형 국가연구개발사업도 임무지향 R&D 체계의 한 축을 담당하고 있다. 2024년 3월, 정부는 그간 논의된 지원 정책과 제도를 총망라한 "혁신적·도전적 R&D 육성 시스템 체계화 방안(안)"을 발표했다. 계획의 골자는 실패 가능성이 높지만 성공 시 막대한 파급효과를 거둘 수 있는 고위험·고난도 R&D 사업군을 '혁신·도전형 사업군'으로 특별 지정하고, DARPA형 PM 제도와 유사한 유연한 사업 관리체계 도입, 지속적인 투자 확대 등 맞춤형 지원을 제공하는 것이다.[3)]

혁신·도전형 사업의 핵심은 DARPA 운영 방식과 유사한 PM 주도의 R&D 관리 제도라 할 수 있다.[4)] 주요 특징으로는 ① 혁신·도전적 목표 달성이 우선시되는 임무지향적 기획, ② 연구책임자가 아닌 프로젝트 전담 기획·관리자로서 PM의 권한 인정·발휘, ③ 고위험·고난도 연구 수행에 적합한 제도 등을 들 수 있다. 각각에 대해 간략히 정리하면 표 1과 같다.

표 1. DARPA형 PM 제도를 도입한 혁신·도전형 국가연구개발사업의 특징

구분	주요 특징
① 임무 지향성	명확한 수요를 바탕으로 도전적인 '문제'가 설정되며, PM은 목적을 달성하기 위해 다양한 경로를 탐색하고 구체적인 세부 과제를 기획
② PM 재량 인정	PM의 강력한 권한과 책임 아래 과제 기획, 평가, 진도관리, 예산 배분 등 R&D 수행 과정의 주요 의사결정이 이루어짐
③ 유연한 연구수행	연구목표 재설정(무빙타겟) 및 계속/중단 여부 결정(Go/No-Go) 허용, 경쟁형 연구방식 도입, 유연한 예산집행 등 고위험 연구에 적합한 다양한 제도

지난 10여년간 정부는 국가연구개발사업의 혁신·도전성을 강화하는 정책과 제도를 꾸준히 개선하며, 표 1의 특징을 근간으로 하는 혁신·도전형 R&D 사업군을 신설, 확대해 왔다. 대표 사업이라 할 수 있는 과기부 혁신도전프로젝트 출범이 2020년으로 아직 사업군 전반의 성과를 평가하기에는 이르나, 선도형 R&D에 걸맞은 제도·문화 발전에 크게 기여했다는 평가를 받고 있다.

한편, 혁신·도전형 사업군이 확대됨에 따라 전체 사업을 총괄하여 운영할 수 있는 전담기관 설치에 대한 논의도 부상하고 있다. 최근 국가과학기술자문회의는 부처별로 산재된 혁신·도전형 R&D의 전담 기관으로서 '혁신연구기획원 설치 추진(안)'을 제안한 바 있다. 현재 각 사업은 주요 연구관리 전문기관 내에 별도의 운영 조직을 설치하여 관리하는 실정으로,[5)] 유사한 성격과 구조를 가진 사업들을 통합 관리할 수 있다면 정보 공유, 자원 배분 등 여러 측면에서 효율화된 운영과 및 맞춤형 제도 도입이 더욱 수월해질 것이라는 계산이다.

---

2) 2024년 6월, 1차년도 약 1,000억원 규모로 신설되는 국가과학기술연구회의 "글로벌 TOP 전략연구단" 사업은 NSTL 협력체계의 마중물이 될 것으로 기대되고 있음

3) '27년까지 중기재정 기준 정부 전체 R&D의 5% 수준 투입을 목표로 하며 2025년 예산(안) 기준으로는 약 1조원 규모.

4) 「혁신적·도전적 R&D 육성 시스템 체계화 방안(안)」에 따르면, 기존의 국내 PM 제도와 차별성을 강조하기 위해 R&D 운영 권한을 가진 총괄 관리자를 PM이라는 명칭 대신 IPL(Innovative Program Leader)로 지칭함

5) 예를 들어 혁신도전프로젝트 사업은 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 내부에 사업 추진단을 운영하고 있으며, 한계도전 R&D프로젝트 사업은 한국연구재단(NRF)의 별도 부서인 '한계도전전략센터'를 설치하여 운영 중.

최근 주요 과학기술 선진국에서는 DARPA 모델을 모방한 연구기관을 차례로 신설하며 혁신·도전형 R&D 확대에 열을 올리고 있다. 대표적으로 독일의 SPRIN-D('19), 영국의 ARIA('22) 등이 있으며, 미국은 의료·보건 분야의 ARPA-H('22)에 이어 교통·인프라 분야의 ARPA-I('23)를 출범시켰다. 이들 기관은 정부 부처로부터 독립된 기관운영 권한을 보장받으며, 고위험·고난도 연구에 적합한 R&D 제도를 발전시켜 나가고 있다.

반면, 국내에는 현재 이와 유사한 전담 기관이 없는 상황으로 혁신·도전형 사업군은 한시적인 예산사업 형태로 추진되고 있다. 따라서 사업 기간에 따라 연구과제가 실행·종료되기 때문에 장기적인 관점에서 연구성과 고도화 및 확산에 어려움이 따르고 사업 관리 경험 및 노하우가 체계적으로 축적되는데 한계가 있다. 이를 극복하기 위한 전담 기관의 필요성에도 불구하고, 법률 제·개정 등 제반 절차를 고려하면 실제 기관 설립까지는 요원한 상황이라 할 수 있다.[6)]

III. KIST 임무중심 연구소 모델

정부의 임무지향 R&D 확대 기조 아래, 그간 출연(연)의 주도적인 역할이 지속 요구되어왔다. 이러한 요청에 부응하고자 새로운 형태의 조직 운영 가능성을 타진해 온 KIST는 '24년 7월 임무중심 연구소 체계를 신설했다. 현재까지 총 5개 연구소가 운영 중으로 양자컴퓨팅, 수소저장·운송, 사회안전로봇, 탄소순환, 천연물신약 분야에서 고유의 임무를 수행하고 있다. 표 2에서 정리한 대로, 각 연구소의 임무는 단지 핵심 기술개발 단계를 넘어 명확한 실수요에 기반하여 기술의 가치가 최종 수요자까지 전달되는 실증·실적용 단계를 목표로 하고 있다.

표 2. 5개 임무중심 연구소의 연구분야 및 임무

분야	임무
양자컴퓨팅	광기반 양자프로세서(QPU) 및 분산형 대규모 양자컴퓨팅 개발 통한 양자화학 계산 적용
수소저장·운송	수소 저온저압 저장 및 고효율 추출 개발·실증 통한 도심형 수소 충전소 적용
사회안전로봇	순찰·동행·구조 로봇 개발·실증 통한 도심 안전관리·재난대응 시스템 적용
탄소순환	기후위기 대응 생태계 탄소순환 회복 기술 개발 및 자연기반 CCUS 적용
천연물신약	저독성·저위험성 천연물 기반 치료제(대장암·췌장암·황반변성) 개발 및 생산

임무중심 연구소의 설립 취지는 국가전략기술 개발, 사회 난제 해결 등 출연(연)이 반드시 해야만 하는 임무지향 R&D에 전념할 수 있는 새로운 조직 체계를 만들자는 철학에서 출발한다. 궁극적인 임무 달성 여부는 오로지

6) 대신 정부는 혁신·도전형 사업군을 포괄하는 '사업 협의체'를 구성하여 공통 제도개선 사항을 발굴하고 사업 관리 경험과 정보를 공유하는 등 총괄 지원할 수 있는 체계를 구축함.

국민이 체감할 수 있는 성과로만 평가될 수 있으며, 이를 위해 단지 기술을 개발하는 단계에서 벗어나 실제 활용의 단계(제품화, 사업화, 표준화, 체계화 등)까지 필요한 후속 연구와 사업 관리를 기관이 직접 주도하려는 시도다. 논문, 특허, 기술이전 등 단순한 양적 지표를 연구소의 대표 성과로 내세우지 않으며, 오히려 최종 목표 달성까지의 마일스톤 혹은 중간 산출물로서의 활용을 강조한다.

임무중심 연구소는 기존의 혁신·도전형 사업군이 채택한 PM 제도를 기관 내부에 효과적·안정적으로 정착시키는 것을 목표로 한다. PM 제도 성공의 핵심은 연구기획, 평가, 관리 전반에 있어 PM이 충분한 재량권을 행사할 수 있는가에 달려있다. DARPA의 PM과 유사한 권한을 부여받는 연구소장은 연구소 핵심 역량을 바탕으로 조직이 달성해야만 하는 임무 목표를 설정, 주도적으로 추진하며 기관은 이를 재정적·제도적으로 지원한다.

1. 연구소 세부 운영 사항

임무중심 연구소는 표 1에서 설명한 혁신·도전형 사업군의 특징을 계승하며 ①명확한 임무지향성, ②PM 재량·권한 인정, ③유연한 R&D 관리를 목표로 한다. PM 역할을 수행하는 연구소장은 출연금 기반의 기관고유사업과 함께 임무와 관련성이 높은 외부 수탁과제 예산을 결합하여 포트폴리오를 구성하고, 연구기획·평가 및 예산 집행을 주도하게 된다. 주요 운영 원칙 및 세부 사항을 살펴보면 다음과 같다.

1.1. 강력한 임무 정합성 지향

먼저 연구소장(PM)은 가시적이고 파급력 높은 성과 창출을 목표로 앞으로 연구소가 수행할 임무의 명확한 중장기(5~10년) 로드맵을 수립·이행한다. 또한 임무 달성 기여도 측면에서 세부 과제의 계속/중단 여부를 판별할 수 있는 단계별 성과목표(마일스톤)도 함께 제시해야 한다. PM은 연구소 소속 연구자들과 함께 구체적인 기술 목표를 설정하고, 그에 필요한 세부 과제 포트폴리오를 기획하며 필요한 연구 자원과 인력을 확보하기 위한 계획을 수립한다.

참여 연구자들은 로드맵 달성 측면에서 연구성과에 대한 PM의 수시점검 및 정기 인사평가를 받게 된다. PM은 분야 고유의 특성을 반영하여 연구자에 대한 평가지표를 설정함으로써 개인의 연구 활동과 조직 임무와의 연계를 높인다. 기관 경영진은 과제 포트폴리오 구성·변경, 로드맵 이행 여부 등 사업 추진체계 관점에서 PM과 연구소를 평가한다. 구체적인 평가 주안점은 표 3과 같다.

표 3. 임무중심 연구소 주요사업 추진체계 평가 주안점

구분	평가 주안점
임무설정 및 신규과제 기획의 적정성	- 각 부서의 임무가 적정하게 설정되고, 주요사업 과제가 연구소 전략을 고려하여 도출되었는가? - 연구역량을 결집할 만한 주요 임무를 전략적으로 도출 및 수행하고 지원·육성하였는가?
과제 추진체계의 전략성 및 효과성	- (출연금) 중과제가 부서 전략에 부합하는 포트폴리오에 따라 전략적으로 구성·운영되었는가? - 연구소 목표에 기반하여 연구단/센터 간 유연한 조직체계 운영이 이루어졌는가?
타부서 및 기관과의 협력체계	- 주요사업 수월성 확보를 위한 외부기관과의 개방형 네트워크 구축이 이루어졌는가? - **임무 달성을 목적으로** 부서간 협력체계 구축 및 융합연구 수행이 이루어졌는가?
국민이 체감할 수 있는 성과 도출 노력	- 국민이 체감할 수 있는 **단계별 성과목표(마일스톤)**를 제시할 수 있는가? - 연구결과가 기술이전 및 창업으로 연결될 수 있는 지원체계를 마련하였는가? - 법·제도 기반 조성 등 **연구성과 실증**을 위한 부서 차원의 적절한 노력이 이루어졌는가?

한편 PM 활동을 지원하기 위한 연구기획·평가비가 별도로 편성된다. PM과 연구자들은 새로운 아이디어 발굴 및 소규모 탐색 연구를 위한 기획 과제를 구성할 수 있다. 유연하고 민첩한 기획 프로세스는 연구팀이 제안-토론-결정-수정 과정을 반복하며 독창적인 문제해결 방식을 찾는 데 매우 중요하다(혁신 아이콘 60년, DARPA의 평가 및 PM제도 분석, IITP 정보통신기술진흥센터, 2018).[7)]

PM의 핵심 역할은 구체적인 마일스톤에 기반하여 과제의 계속/변경/중단 여부를 판정하고 임무 달성 전반을 관리해 나가는 것이다. PM은 마일스톤 달성을 입증하고 임무 진척도를 판단할 수 있는 중간 결과물로서 논문, 지식재산권, 시제품 등 다양한 형태의 'Deliverable'을 명확히 제시하고 도출해야 한다. 또한 예기치 못한 중간 결과물의 새로운 응용·활용 가능성, 새로운 문제해결 방식 도출, 추가적인 지식 탐구의 필요성 등을 판단하기 위해 연구 상황에 대한 면밀한 점검이 요구된다.

한편, 임무 정합성을 높이기 위한 새로운 시도로서 임무와 관련이 낮은 외부 수탁과제 신청·참여를 제한하는 규정이 신설되었다. 연구소장은 조직 임무와의 연계 수준을 고려하여 수탁과제 수행 여부를 심의할 수 있다. 취지는 연구소의 과제 포트폴리오가 PM 주도로 관리되며 임무 기여도가 낮은 과제 수주는 지양하는 것이다. 이에 대해 연구자 개인의 자율성을 크게 위축시킬 수 있다는 일각의 우려가 있었으나, KIST는 내부 출연금을 활용하여 연구소 별 기관고유사업 예산을 대폭 증액하는 대안을 제시했다.[8)] 또한 신규 출연금 사업을 기획·발굴하고 예산요구 우선순위를 도출하는 과정에서 임무 연계성 및 기여도 수준을 반영하여 연구소의 출연금 지원을 확대하기로 했다.

7) 유연한 기획 과정은 제품 개발 단계와 달리 명확한 비교 대상이 없는 기초·원천기술 단계에서 특히 중요한 것으로 잘 알려져 있다.

8) 연구소 설립 기획 과정에서 수차례 내부 설문을 통해 외부 수탁과제를 완전히 제한한다는 가정하에 연구자가 만족할 수 있는 1인당 연구비(기관고유과제) 규모를 추산한 바 있으며, 앞으로 기관 차원에서 이에 최대한 근접한 수준의 연구비를 지원할 계획임.

1.2. 연구소장은 관리자로서 PM 역할에 집중

정부의 혁신·도전형 사업군을 포함한 DARPA형 운영 모델에서 PM은 외부 공모 등의 방식을 통해 개방형으로 선발되는 것이 일반적이다. 반면 임무중심 연구소는 연구기관 내부 조직으로서 구성원의 핵심 역량을 계승, 조직 운영의 연속성을 유지하며 임무를 달성한다는 점에서 차이점이 있다. 따라서 PM은 해당 기술 분야의 전문성 외에도 조직 운영에 대한 풍부한 경험, 소통 역량과 리더십이 특별히 요구된다. 현재까지 출범한 5개 연구소의 초대 소장은 이러한 역량을 두루 갖춘 내부 연구자 출신으로 구성되어 있다.[9] 향후에는 외부 공모 방식 등을 통한 개방형 연구소장 영입도 가능할 것으로 보인다.

임무중심 연구소의 핵심 철학은 유능한 PM에게 연구관리 전권을 위임하여 임무 달성에 필요한 전문성과 유연성을 최대한 발휘하도록 하는 것이다. 따라서 연구소장은 전문 PM의 역할에 집중할 수 있도록 직접 연구과제에 참여하거나 연구책임자(PI)로 활동하지 않는다는 제약이 신설됐다. 이러한 제한 조건은 그간 전례가 없는 시도로, 연구자로서의 경력 중단을 각오하고 PM 커리어로 전념하는 것에 대해 내부 구성원들이 우려를 표하기도 했다.

이러한 과감한 시도는 PM의 역량 및 업무에 집중할 수 있는 환경이 혁신·도전형 연구의 성공의 핵심이라는 교훈에서 비롯된다. 그러나 PM의 연구 활동을 제한하는 것만으로는 최선의 결과를 이끌어내기 어려우며, 적절한 동기부여를 위한 혜택과 보상도 병행되어야 한다. 연구소장에게 주어지는 혜택은 크게 금전적 또는 비금전적 보상으로 구분할 수 있다. 마일스톤 달성 및 임무 기여도와 연계한 파격적인 보상책이 필요하다는데 내부의 뜻을 모았으나, 인건비 한도와 가용할 수 있는 연구수당 규모의 한계 등 현실적인 어려움이 많아 금전적 보상은 앞으로 풀어야 할 숙제로 남아있다.

비금전적으로는 PM 업무에 집중할 수 있는 지원책을 모두 포괄한다. 연구소장이 완전한 재량권을 발휘할 수 있는 별도의 기획·평가 과제를 구성하고 전담 지원부서를 설치하여 정책기획, 사업화, 법무, PD 활동 등 전문성 높은 지원 기능을 제공하고 소장의 과도한 행정부담을 줄인다. 또한 현재 정부에서 운영하는 혁신·도전형 사업군 협의체와 유사하게 현재 기관 차원에서 5개 연구소 PM간 협의체를 구성, 격주 단위의 정례 운영을 통해 임무 달성에 대한 정보와 노하우를 공유하고 필요한 지원 사항 및 제도개선 수요를 발굴·도입한다.

한편, 체계적인 PM 선발·육성 프로세스도 임무중심 연구소 모델의 지속가능성에 중요한 요소다. 특히, 우수한 연구자가 향후 PM으로서 경력을 전환할 수 있도록 대형 외부 사업 단장으로의 진출을 기관 차원에서 지원하는 등 체계적인 커리어트랙 개발 방안을 모색할 필요가 있다. 이를 통해 내부에 잠재적인 PM 후보군을 구축할 수 있고 외부 경험을 통해 이들이 PM으로서 전문성을 쌓을 기회를 마련할 수 있다.

---

9) PM은 기관 내부의 엄정한 절차를 거쳐 선발되었다. 기관 경영진과의 수차례 심층 인터뷰를 통해 해결하고자 하는 문제 설정, 명확한 목표와 마일스톤 제시, 필요 예산 및 자원 획득 계획, 연구팀 구성·운영 계획, 기관 차원의 지원 요청 사항 등에 대한 논의·합의가 이루어졌다.

1.3. PM 전담지원부서 운영

최근 출연(연)의 연구행정 효율화와 매니지먼트 전문성 제고를 위한 노력이 확대되고 있다. KIST는 임무중심 연구소 직속으로 PM 업무를 전담 지원하는 부서인 '연구지원실'을 설치하고, 임무 달성까지 필요한 정책기획, 평가, 국제협력, 실증화, 사업화 등 전문 지원 기능을 강화한다. 이는 행정지원 부서가 기관 내 여러 현장 수요에 대응하는 기존 형태에서 벗어난 것으로, 연구지원실은 PM에 전속되어 밀착 지원을 수행하게 된다. 연구지원실장은 PM과 함께 임무를 달성하는 '러닝메이트' 역할을 수행하며, 기존에 연구소장에게 집중되었던 각종 행정업무 및 조직 운영에 관한 의사결정을 분담한다.

연구지원실은 전문 지원 인력이 연구 현장과 매우 가깝게 배치된다는 것이 가장 큰 특징이다. 기존의 행정지원 업무가 주로 연구자의 요청에 대응하는 '응답형' 방식으로 이루어졌다면, 연구지원실은 초기 기획 단계에서부터 전문 지원 인력이 함께 참여하며 로드맵을 수립하고 필요한 지원 기능을 선제적으로 준비하는 '전략형' 방식으로 전환을 꾀한다. 예를 들어 기술 실증에 필요한 제도·규정을 마련하는 과정에서 정책기획 분야 인력이 현장 연구자와 긴밀히 소통하며 필요한 정보를 빠르게 습득하고 이를 유관기관과의 협력에서 적절히 반영할 수 있다. 이러한 지원 방식은 IP R&D 전략 수립, 선도연구기관과의 네트워킹, 공동연구과제 기획, 기술실증·사업화, 경제·사회적 파급효과 분석 등 다양한 상황에 활용될 수 있다.

그러나 이러한 모델이 원활히 작동하기 위해서는 현재 수준보다 훨씬 큰 규모의 행정·지원 인력 수급이 불가피하며, 이는 앞으로 기관이 풀어야 할 과제로 남아있다. 또한 인력 운용 효율성을 높이기 위해 연구비 관리, 사무 행정 등 일부 단순 업무는 외부 아웃소싱하는 방안을 마련할 필요가 있다.

1.4. 개방형 조직 운영 지향

DARPA는 기획·평가·관리에 집중하는 전문기관으로 자체 연구조직과 시설을 보유하고 있지 않다.[10] 반면 임무중심 연구소는 본래의 연구조직이라는 속성을 유지하며 내부 인력이 연구의 핵심 역량을 이루되, PM 주도의 기획·관리 기능을 보완하는 형태를 지향한다. 따라서 PM은 연구소의 총괄 운영자로서 내부 역량을 지속 발전시켜야 함과 동시에 DARPA의 방식처럼 임무 수행에 필요한 외부 자원·인력을 확충하는 등 개방형 R&D를 적극적으로 도입하게 된다. 외부 기관에 연구비 개방 또는 공동과제 구성을 통해 필요한 자원에 접근하고 겸직연구원 제도 등을 통해 외부 인재를 적극 활용하는 것이 그 예다. 이는 출연(연) 중심의 임무지향 생태계를 구축하기 위해 정부가 도입 중인 국가과학기술연구실(NTSL) 개념과 일맥상통한다.

개방형 인재 활용은 기관 내의 타 부서간 인력 교류를 통해서도 일부 달성될 수 있다. 현재 KIST는 임무중심 연구소 외에 자율·창의형 연구에 집중하는 연구본부를 운영하며 이원화된 조직 체계를 갖추고 있다. 연구소장은 타 본부 인력이 연구소 임무에 합류하여 공동연구를 수행하도록 요청할 수 있으며, 해당 인력은 겸직, 부서이동,

10) DARPA의 PM은 제한된 임기(약 4~5년)의 계약직 신분으로 운영되며, 목표 달성을 위해 외부 연구자를 민첩하게 동원하여 새로운 아이디어를 수혈하는 것으로 잘 알려져 있다.

과제참여 등 다양한 형태로 협력한 뒤 원 소속으로 복귀할 수 있다. 이를 위해 연구소장은 공동 연구자에게 제공할 수 있는 예산과혜택 및 인센티브 조건, 임무 달성·종료 이후 원 소속으로의 안정적인 복귀 방안을 마련해야 한다.

지금까지 논의한 임무중심 연구소 운영모델의 주요 특징을 정리하면 표 4와 같다.

표 4. 임무중심 연구소 주요 특징

1. 강력한 임무정합성 지향
- PM은 구체적인 임무 로드맵 및 마일스톤을 수립하여 과제 계속/변경/중단 여부 결정
- PM은 경영진으로부터 로드맵 이행과 관련된 '사업 추진체계'를 평가받음
- PM은 연구소 자체 평가 지표를 발굴하여 소속 연구자 평가
- 소속 연구자의 외부 수탁과제 제한 : 원칙적으로 임무와 관련성 높은 과제만 수행 가능
- 신규 출연금 사업 우선순위 부여 등 임무중심 연구소 출연금 지원 확대

2. 연구소장은 관리자로서 PM 역할에 집중
- 연구 관리자로서 해당 분야 전문성과 함께 조직운영 경험, 소통역량, 리더십 필요
- 원칙적으로 직접 연구과제 참여 및 연구책임자(PI)로서 활동 제한
- 마일스톤 달성에 따른 보상·혜택 제공
- 별도 기획·평가과제 구성, 전담 지원부서 구축, 내부 협의체 운영 등 업무몰입 환경 제공
- 기관 차원의 PM 선발·육성 지원 (외부 대형 사업단장으로의 진출 지원 등)

3. PM 전담지원부서 운영
- PM 임무에 달성에 필요한 정책기획, 평가, 국제협력, IP R&D, 실증화, 사업화 등 전문 업무를 밀착 지원
- 초기 임무 로드맵 기획 단계부터 필요한 지원 기능을 선제적으로 준비하는 전략적 지원
- 지원인력 수급 문제 해결 및 단순 업무의 외부 아웃소싱으로 인력운용 효율화

4. 개방형 조직 운영 지향
- 기관 내부 조직이라는 정체성에도 불구, 임무 달성에 필요한 외부 인재·자원 수급 필요
- PM이 주도하여 외부 자원 접근 및 외부인재 활용 적극 확대(외부기관 연구비 개방, 공동과제 구성, 겸직연구원 등)
- 타 연구부서(본부)와의 인력교류 강화 및 이를 위한 PM의 지원 방안 마련 필요

종합하면 임무중심 연구소 모델은 DARPA 운영방식 및 기존 혁신·도전형 사업군의 요체라 할 수 있는 PM 제도를 근간으로 하며, 기관은 연구소장에게 임무 달성 및 조직 운영에 대한 권한과 책임을 동시에 부여한다. 소장은 직접 연구활동 참여 또는 연구책임자 자격이 제한되는 등 관리자로서 업무에 전념해야 하지만 기관으로부터 별도 기획·평가 과제 구성, 전담지원부서, 신규 출연금 지원 등 전문성과 독립성을 발휘할 수 있는 각종 지원책을 제공한다.

2. 혁신·도전형 사업군과의 비교

임무중심 연구소 모델은 기존의 혁신·도전형 사업군 운영 방식과 몇 가지 대비되는 차이점이 있다. 먼저 임무중심 연구소장은 전문 PM의 역할과 조직의 총괄 운영자로서 책무를 동시에 맡는다. 즉 연구소장은 자체 수립한 임무에 따라 대형 팀 연구를 이끌 수 있으며, 필요한 과제, 자원, 인력을 기관 차원에서 지원받을 수 있다는 장점이 있다. 반면 연구소장에게 기획·평가 권한이 집중되면서 연구소 운영에 대해 구성원과의 원만한 소통, 갈등 조정 능력이 크게 요구된다.

또한 연구소장은 조직이 존속되는 한 목표 재설정, 과제 포트폴리오 변경 등 세부 조정을 거치며 임무 달성의 연속성을 유지할 수 있다. 특히 기술 수요 변화 등 불확실한 환경에 대응하거나 후속 연구 및 사업화를 준비하는 과정에서 기민한 대처가 가능하다. 이러한 연속성과 유연성은 경직된 예산 편성 과정과 사업 기간에 제약이 있는 혁신·도전형 사업과는 차별화되는 장점이라 할 수 있다.

부처 사업 형태가 아닌 기관 내부 조직이 연구를 주도한다는 특징은 조직 구성원의 핵심 역량을 임무 중심으로 보존하고 지속 발전시킬 수 있다는 장점이 있지만, 개별 구성원의 이해관계와 선호를 하나의 목표로 수렴시키며 기획·평가 과정에서 이를 적절히 반영해야 한다는 어려움도 공존한다. 이러한 장단점은 사업 개시·종료에 따라 연구팀이 결성·해체되는 혁신·도전형 사업 방식과는 명확히 다른 특징이다.

또한 연구소 구성원은 임무 기여도에 대한 피드백이 인사고과 등을 통해 개인의 성과로 직접 인정받는다는 특징이 있다. PM은 논문, 특허 등의 정량 지표를 개인 성과의 참고 자료로 활용할 수 있으나, 임무 고유의 특성이 반영된 맞춤형 평가가 핵심을 이루기 때문에 구성원들은 중장기적으로 조직의 임무와 일치되는 방향으로 역량을 개발할 유인이 발생한다. 반면 부처 사업에서는 연구자들의 해당 임무에 대한 관심과 의욕이 후속 과제·사업 연계 등 추가 지원 여부에 따라 크게 달라질 수 있다.

표 5. 임무중심 연구소와 혁신·도전형 사업군의 운영방식 비교

	임무중심 연구소	혁신·도전형(ARPO) 사업군
상위 거버넌스	기관 경영진	정부부처(사업추진단)
PM 선정	개방형 원칙, 현재는 내부인력 중심	개방형 공모
예산	임무 관련성이 높은 외부수탁 과제 및 기관 출연금을 결합하여 편성	부처 사업예산
기획	PM 주도의 연구소 내부 기획 및 세부과제 편성 (별도 기획·평가 과제)	민관합동 방식의 수요 발굴, 테마 선정 및 기획
연구 연속성	조직 폐쇄까지 지속	사업 기간에 한정
연구팀 구성	연구소 구성원 중심으로 핵심 팀 구성 + 외부 연구자 개방형 활용	외부 연구책임자 공모·선정
성과 피드백	PM 평가 및 연구자 인사고과에 반영 등	후속 과제·사업으로 연계 등

3. 연구소 운영 모델 분석

3.1. 설립 취지 및 기대 효과

임무중심 연구소의 설립 취지는 DARPA형 PM제도의 장점을 안정적으로 구현할 수 있는 운영체계를 연구기관 내부에 도입하자는 아이디어에서 출발한다. 연구소 성과를 평가하기에 아직은 이른 시점이나, 설립 취지 및 이전 장에서 설명한 운영 원칙에 근거하여 기대할 수 있는 효과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 임무중심 연구소는 PM 제도를 조직의 운영 철학으로 내재화하고 기관 차원에서 이를 뒷받침하는 각종 자원과 규정을 마련함으로써 임무지향 연구의 독립성·자율성이 존중받을 것으로 기대된다. 기획, 평가, 목표

재조정, 과제 중단 등 주요 의사결정에서 PM은 권한을 행사할 수 있으며, 기관은 이를 PM의 고유 업무 영역으로 인정한다.

제도의 핵심은 PM의 재량을 인정하여 위험을 무릅쓰고 과감한 의사결정을 촉진하는 것이다. 그간의 혁신·도전형 사업 운영 실태를 돌아보면, 일반 R&D 사업과 크게 다르지 않는 법·규정이 그대로 적용되어 PM의 역할과 권한에 큰 제약이 있다는 평가를 받아왔다. 특히 PM 재량권을 인정하지 못하는 감사 규정과 부처가 주요 의사결정에 영향을 미치는 관행이 주요 한계점으로 지적되었다.

둘째, 연구소장의 재량권은 유연한 연구관리에도 도움이 될 것으로 기대된다. 연구 수행 중 습득한 새로운 정보, 새로운 접근 방식의 필요성 등에 따라 연구소장은 민첩하게 신규 과제를 기획할 수 있으며, 과제 간 예산 조정 및 포트폴리오의 신속한 변경도 가능하다. 기관 차원에서는 연구소 사업 추진체계를 평가하여 PM의 유연한 관리 업무를 독려할 수 있다.

셋째, 대형 팀 중심의 조직적인 연구 수행을 통해 임무 달성의 연속성을 높일 수 있다. 연구자는 임무 기여도에 따라 PM의 평가 및 성과 피드백을 받으며 해당 분야에 특화된 커리어 개발 유인이 발생한다. 특히 PM과 연구팀은 마일스톤 달성에 따라 후속 과제를 기획할 수 있으며 기관은 연구소 예산 지원, 신규 출연금 사업 지원 등을 통해 이를 뒷받침한다. 한편, 기술 스펙을 점진적으로 높이며 실증화를 추구하는 형태의 연구에서는 개발 단계의 업무 비중이 증가함에 따라 테크니션 등 전문 기술지원 인력에 대한 수요가 크게 늘어날 것으로 예상된다. 따라서 그동안 개인 PI와 학생연구원 중심으로 구성된 대학 연구실 모델에서 벗어나 연구소장이 대규모 스태프를 운용하며 여러 PI가 함께 팀 연구를 수행하는 방식으로 인력구조 전환이 일어날 것으로 기대된다.

넷째, 연구소장과 전담 지원부서는 임무 수행 중 축적한 연구관리·지원 활동의 경험과 노하우를 지속 발전시켜 나갈 수 있다. 부처 사업의 경우 사업 종료와 함께 지원단 조직도 해체되는 것이 일반적이나, 연구소 내 전담 지원 인력은 기획, 정책, 사업화, 국제협력 등 개인의 전문 역량을 장기적으로 축적해 나가며 임무를 지원할 수 있다.

마지막으로 임무중심 연구소는 앞으로 국가 혁신생태계에서 활약할 유능한 PM을 육성·배출하는 'PM 양성소' 역할을 할 것으로 기대된다. 연구자들은 PM과 함께 임무를 수행하며 연구관리의 전문성을 인식하고 하나의 독자적인 업무 영역이자 잠재적인 경력개발경로로 받아들이는 계기가 될 수 있다. DARPA의 PM은 30~40대 연령대가 주를 이루며, 연구자들은 PM직 요청을 큰 영예로 여기는 것으로 알려져 있다. 이와 유사하게 임무중심 연구소는 PM의 전문성을 인정하고 존중하는 문화를 조성하는 데 기여할 수 있을 것이다.

3.2. 예상되는 한계점

임무중심 연구소 모델의 성공을 위해서는 조직 운영과 관련된 여러 이슈 및 한계점을 반드시 극복해야 할 것으로 생각된다.

첫째, 안정적인 체제 정착을 위해 연구소 성과에 대한 피드백이 명확해야 하며 급격한 정책 변화로 인해 현장에 혼란이 야기되는 것은 지양되어야 한다. 임무 마일스톤을 명확하게 설정하고, 그 달성 여부에 따라 PM 및 구성원 평가, 예산 지원 확대, 조직 개폐 등 성과에 대한 피드백이 적확하게 이루어져야 한다. PM의 고유 권한을 침해하는

기관 경영진의 개입은 최소화되어야 하며, 기관장 임기에 따라 임무 수행의 주요 의사결정이 단속적으로 이루어지는 것을 경계해야 한다.

둘째, 대형 팀 연구에 대한 구성원 동기부여를 위해 PM의 소통 역량 및 엄정한 성과 평가 능력이 반드시 필요하다. 개인 연구자의 외부 수탁 활동에 일부 제약이 생기는 등 높은 수준의 임무정합성이 요구되는 가운데, 이들에 대한 평가는 PM의 판단에 크게 좌우된다. 목표 설정 과정에서 명확한 비전 제시를 통해 구성원의 지지와 공감을 얻어야 할 뿐만 아니라, 엄정한 평가를 통해 공정한 보상과 경력 개발에 대한 기대를 높임으로써 효과적인 팀 연구를 도모할 수 있다.

셋째, PM은 조직 내부 역량에서 크게 벗어나는 고위험·도전적 목표를 설정하는 과정에서 구성원의 반발 및 갈등에 직면할 수 있다. 이는 DARPA가 자체 연구 인력을 두지 않고 개방형 연구팀을 구성하는 주된 이유이기도 하다. '할 수 있는 연구'가 아니라 '해야만 하는 임무'에 집중하려면 기존의 과제를 과감하게 중단하거나 내부에서 시도할 수 없는 새로운 접근 방식을 도입하는 등 조직 내 관성을 극복해야 한다. PM은 연구비 개방, 공동과제 구성 등 외부기관과의 협력을 통해 조직의 개방성을 높임으로써 내부 논리에 매몰되는 것을 방지해야 한다.

넷째, 개방형 조직 운영의 필요성에도 불구하고 출연(연)이 외부 인재를 적극적으로 활용하는 데 제도적인 장벽이 높다. 연구소 소장은 여타의 사업단장 PM과 달리 장기적인 관점에서 조직의 핵심 역량을 임무 중심으로 축적해야 한다. 그 과정에서 민간의 새로운 인재를 물색하고 발탁하는 것이 중요하지만 총액인건비 제도, 인건비 한도 등 출연(연)이 적용받는 경직된 규정으로 인해 많은 한계가 따른다. 연구소장은 현행 법·규정의 틀 안에서 겸직연구원 제도, 추가 연구수당 등 외부 연구자에게 적절한 보상책을 제공하여 과제 참여를 유도하는 대안을 마련해야만 한다.

마지막으로 PM의 권한 남용 또는 일방적·배타적인 의사결정으로 인해 구성원 신임을 잃을 경우, 조직 전체가 와해할 위험에 처하게 된다. 이는 본질적으로 PM 일인에게 권한이 집중되며 발생하는 리스크라 할 수 있다. 이러한 상황을 사전 예방할 수 있도록 PM 활동에 대해 적절한 견제와 균형의 원칙이 필요하다. 현재 KIST는 5개 연구소 간 협의체를 격주 단위로 운영하여, 상호 피드백을 통해 PM의 책무를 환기할 수 있는 기회를 마련하고 있다.

3.3. 정책적 시사점

향후 연구소 운영이 안정적으로 정착하게 된다면 혁신·도전형 사업과 함께 정부의 임무지향 R&D를 수행하는 핵심 플랫폼으로서 역할을 기대할 수 있을 것이다. 새롭게 출범한 5개 연구소는 임무 분야, 기술 성숙도, 예산·인력 규모, 마일스톤 목표 등에서 상당한 차이가 있어, 그에 따라 조직 운영체계의 많은 부분이 세부적으로 조정될 것으로 예상된다. 이러한 측면에서 기관 주도의 임무지향 R&D 모델이 출연(연) 전반으로 확산되는 데 종합연구기관인 KIST의 경험은 중요한 자산이 될 것이다.

PM 제도를 근간으로 하는 임무중심 연구소 체계는 출연(연)이 조직 개방성을 높이고 고유 임무를 중심으로 출연금 활용과 기관운영의 자율성을 강화하는 토대가 될 것으로 기대된다. 특히 정부의 중장기 계획에 따라 출연(연) 주요사업 체계가 향후 대과제 단위의 블록펀딩 형태로 편성된다면, 내외부 환경 변화에 따라 유연한 연구관리가 가능한 PM 제도의 장점이 더욱 배가될 것이다.

또한 정부가 연구소 고유 임무의 필요성에 공감하며 정책지정 과제를 편성·지원하게 된다면, 안정적인 임무 달성과 예측 가능한 연구소 운영에 크게 기여할 것으로 예상된다. 현재의 출연금 제도 아래에서는 기관의 고유 임무가 예산요구·심의 과정에서 소외된 채 단기 정책 이슈·키워드를 중심으로 중과제 단위의 예산 편성이 이루어지고 있다. 이러한 한계점을 극복하는 방안으로 정책지정 사업을 통한 연구소 지원 방식도 함께 고려할 수 있다.

IV. 결론

최근 정부는 국가 혁신생태계를 선도형으로 전환한다는 기조 아래 국가전략기술 개발, 대형 사회난제 해결 등을 위한 임무지향 R&D를 강조하고 있다. 국내 대표 정부출연연구기관인 KIST는 DARPA형 PM제도를 조직 내부에 이식한 임무중심 연구소를 출범하여 기존의 혁신·도전형 사업군과 차별화된 형태의 새로운 R&D 모델을 실험하고 있다.

본 원고는 그간 기관 내부적으로 논의된 새로운 연구소 운영모델을 소개하며, 예상되는 기대효과와 한계점을 분석했다. 임무지향 R&D 구심점으로서 출연(연)의 주도적인 역할이 요청되고 있는 요즘, 기존의 부처 사업에 의존하는 방식에서 벗어나 연구기관이 내부 출연금을 적극적으로 활용하여 임무 수행을 주도한다는 취지다.

아직 신생 조직의 운영 실태를 파악하기에 이른 시점이나, 본 원고는 앞으로 전개될 국내 임무지향 R&D의 새로운 형태를 제시하고 알리는 데 기여하고 있다. 그간 PM 제도 관련 연구에서 지적한 바와 같이 새로운 모델의 성공 여부는 제도의 대원칙이라 할 수 있는 독립성과 자율성이 기관 내부에 얼마나 잘 구현할 수 있는가에 달려있다. 세부적으로는 PM 고유의 기획·평가 과제 구성, 연구자의 수탁과제 제한, 마일스톤 달성도 중심 평가체계, 전담 지원조직 구축 등 여러 제도가 연구소 운영을 뒷받침하고 있다.

향후 연구소 운영 및 성과 관련 데이터를 활용하여 몇 가지 측면에서 후속 연구를 수행할 수 있을 것이다. 먼저 PM을 포함한 구성원 대상 심층 설문 및 인터뷰를 통해 연구소 운영 실태를 면밀하게 파악하고, 다양한 정량 자료(연구소가 자체 설정한 마일스톤 지표, 예산 포트폴리오 구조 등)를 활용하여 실제 임무 달성 성과를 분석할 필요가 있다. 이를 통해 새로운 모델의 성공 여부를 개괄적으로 가늠할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 목표 재설정, 평가제도 개선, 인력 이동 등 연구소의 세부 운영이 내외부 환경에 따라 어떻게 변화하는지 추적 분석하여 임무 달성 과정의 유연성에 관한 시사점을 도출할 필요가 있다. 특히 동일 기관 내 서로 다른 분야를 연구하는 5개 조직을 비교함으로써 분야 고유의 특이성을 이해할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 앞으로 임무중심 연구소 모델이 타 연구기관 및 분야로 확장될 수 있는 방향을 제시하고 국가 R&D 정책에 기여할 수 있을 것이다.

저자소개 **구병석** (Byeong-Seok Koo)

• 학력
KAIST 경영대학 경영공학 박사
KAIST 경영대학 경영공학 석사
KAIST 수리과학 학사

• 경력
現) 한국과학기술연구원 선임연구원

참고문헌

〈국내문헌〉

1) 구본진 (2024), “임무지향형 국가연구개발사업 활성화를 위한 정책 제언”, 한국기술혁신학회 2024년 하계학술대회 발표논문집.
2) 국가과학기술자문회의 (2024),「도전·혁신형 국가 R&D 체계 혁신 전략 (혁신연구기획원 설치 추진)」, 국가과학기술자문회의.
3) 국가과학기술자문회의 심의회의 (2024),「혁신적·도전적 R&D 육성시스템 체계화방안(안)」, 국가과학기술자문회의 심의회의.
4) 이민정 (2024),「국가연구개발사업 혁신도전정책 아이디어 및 제도변화 : 신제도주의 경로의존성 관점에서」, 한국과학기술기획평가원.
5) 이효은 (2018),「혁신 아이콘 60년, DARPA의 평가 및 PM제도 분석」, 정보통신기술진흥센터.
6) 정민우 (2022),「출연연구기관 예산 체계 고도화 방안 연구 (2/2) 연차보고서」, 한국과학기술기획평가원.

〈국외문헌〉

1) Azoulay, P., Fuchs, E., Goldstein, A. P., and Kearney, M. (2019), “Funding Breakthrough Research: Promises and Challenges of the ARPA. S. (2022), “The Design of Transformative Research and Innovation Policy Instruments for Grand Challenges : The Policy-nesting Perspective”, Science and Public Policy, 49: 659-672.
2) DARPA (2018),「Defense Advanced Research Projects Agency 1958-2018」, DARPA.
3) Goldstein, A., and Kearney, M. (2020), “Know When to Fold’em : An Empirical Description of Risk Management in Public Research Funding”, Research Policy, 49(1): 103873.
4) Hayter, C. S., and Link, A. N. (2020), “Governance Mechanisms Enabling Inter-organizational Adaptation: Lessons form Grand Challenge R&D Programs”, Science and Public Policy, 47(2): 271-282.
5) Janssen, M. J., Torrens, J., Wesseling, J. H. and Wanzenböck, I. (2021), "The promises and premises of mission-oriented innovation policy—A reflection Model”, Innovation Policy and the Economy, 19(1): 69-96.
6) Borras, S. and Serger, Sand ways forward", Science and Public Policy, 48(3): 438-444.

융합연구리뷰

Convergence Research Review

이 보고서는 2024년 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 작성되었음.
(2023M3C1A604340012)

융합연구리뷰

Convergence Research Review

FCSC 미래융합전략센터
Future Convergence Strategy Center

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5 **TEL.** 02.958.4987

ISSN. 2465-8456