

# 연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : PUF기반 보안을 지원하는 다중 드론 임무 가변형  
FANET 통신모듈 개발

## 1. 개요

### 가. 기술의 개념 및 정의

- 드론은 4차산업혁명을 선도할 뿐 아니라, 국방 분야에서도 미래 전장 게임체인저로서의 역할을 수행할 드론봇 전투체계의 핵심요소로 다양한 응용이 기대되고 있음.
- 현재 고속드론 비행환경을 반영한 전용 무선모뎀과 잦은 토폴로지 변화를 고려한 Ad-Hoc 네트워크 통신기술 (FANET: Flying Ad-hoc Network)을 통합 지원하는 통신장치가 세계적으로 상용화되어 있지 않음. 현재 국내에서 개발 중인 대형드론 조정통제 전용 통신기술, 상용 WiFi/5G 기반의 군집드론 통신기술 등도 다양한 임무 적용이 어렵고 또한 중·소형드론에 특화된 대전자전/보안기능을 갖는 전용 통신모듈개발을 포함하고 있지 않음.
- 따라서 미래전장에서의 다양한 임무 및 민간 응용에 드론을 유연하게 활용하기 위하여 대전자전 및 보안기능이 내장된 FANET 기술을 지원하는 저 전력 중·소형 드론 제어 및 임무용 통신링크가 통합된 통신장치의 조기 개발이 절실히 필요함.

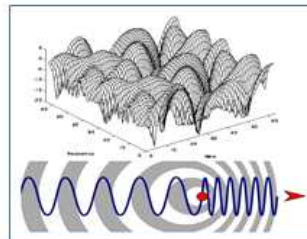
드론대상 보안위협 증가  
(해킹, 재밍)



FANET 요구증가  
(Non-LOS 통달거리 확장)



고속비행환경 지원  
(도플러, 페이딩)

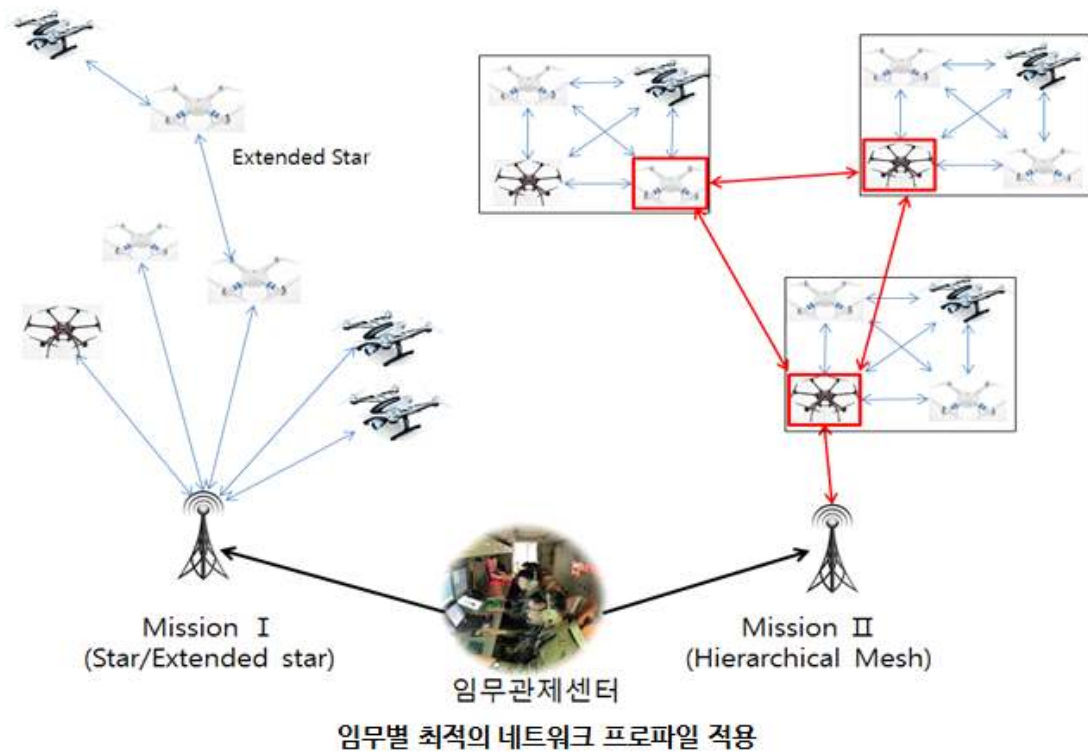


다양한응용/임무지원  
(임무가변형)



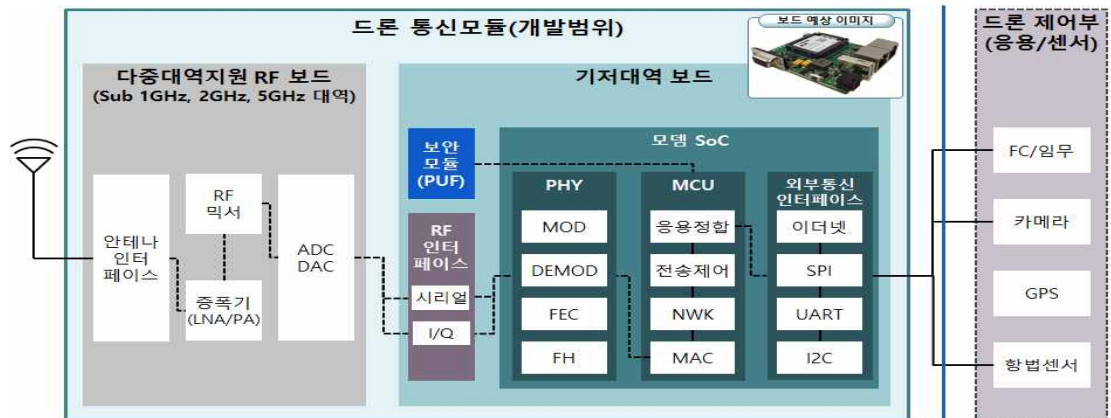
<드론통신의 주요 개선요구>

- o 이러한 개선요구를 반영하여 국방, 공공 및 민수용 중·소형 드론에 적용 가능한 저 전력 소형 SoC 모뎀 및 PUF (Physical Unclonable Function) 기반 HW 보안을 지원하는 통신모듈 개발을 포함하여 다양한 임무에 활용 가능한 다중 드론 임무가변형 FANET 통신기술을 개발함.



#### <다양한 임무에 적용된 드론간 통신(Star, Mesh)>

- FANET 통신 프로토콜을 정의하고 M&S를 통해 기능/성능을 사전 검증
- FANET 환경에서 운용할 모뎀 SoC 개발
- RF와 BB(모뎀 SoC 포함) 보드를 통합한 통신모듈을 개발
- FANET 통신 프로토콜 SW를 구현하여 통신모듈에 탑재하여 운용
- 테스트베드를 구축하여 FANET 통신기술의 기능/성능을 검증



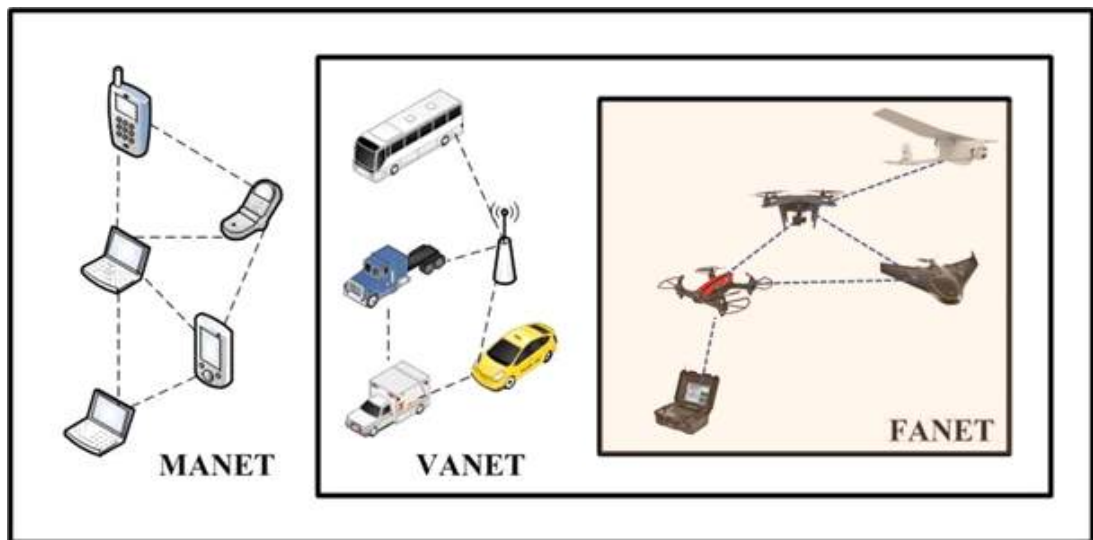
〈드론 통신모듈의 구성도〉

## 나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

### o 기술의 중요성/필요성

4차산업혁명 핵심요소인 드론 산업분야에서 중국이 선도하고 있으나, 1:1 또는 1:N 통신방식이며, 다양한 임무를 수행할 수 있는 군사용 드론 및 고부가가치 산업용 드론고속비행 환경에서의 핵심기술인 Ad-hoc 기반의 FANET 통신기술은 선진국 및 중국에서도 상용화가 되어 있지 않은 상황임.

- 비가시선 환경에서 Ad-hoc 기반 통달거리 확장 필요
- 대용량/실시간 전송 속도 보장 필요
- 도플러 페이딩 문제 해결 필요
- 임무별로 최적화된 통신 프로파일 제공 필요
- 항재밍 / 보안 기능 제공 필요



<운용환경(이동, 차량, 비행)별 Adhoc 기술의 특징 비교>

드론을 다양한 상황과 작전에 응용을 위해서는 고속 드론 운용 환경(재밍, 도플러 페이딩 등)을 고려한 전용 모뎀을 탑재한 소형 경량화 통신모듈, Ad-hoc 기반 FANET 통신기술, 이를 효율적으로 활용할 수 있는 임무가변형 기술 및 PUF 기반의 강력한 보안기술 개발 필요



<민군의 임무/응용을 지원하기 위한 드론통신의 주요 개선요소>

#### o 기술개발의 시급성

선진국대비 상대적으로 열세인 드론용 국방 및 민수분야에서 국제 경쟁력 강화를 위하여 미래성장산업인 드론을 활용한 다양한 임무수행을 견인할 수 있는 가장 핵심적인 요소인 초소형 통신모듈을 포함한 FANET 기술을 국책과제로 수행하여 지재권의 선제 확보 및 국산화가 시급함.

### 다. 연구개발 최종 목표

#### o 민·군수용

- 모뎀 SoC 및 통신모듈 개발
  - FANET 통신에 특화된 모뎀 SoC를 개발
  - 드론에 장착하여 운용할 수 있는 통신모듈을 개발 (RF 보드, Baseband 보드)
- 임무가변형 FANET 통신기술 개발
  - FANET 통신 프로토콜 절차 정의
  - 모뎀 SoC에서 운용될 프로토콜 SW 개발
- M&S 기반 설계검증 및 테스트베드 검증
  - 시뮬레이터 개발, 기능/성능 사전 검증
  - 테스트베드 구축, 기능/성능 통합 검증

항 목	평 가 내 용
-----	---------

통신 모듈	운용 주파수	- 다중대역 지원 . Sub 1GHz, 2GHz, 5GHz 대역
	전송속도	- 최대 12Mbps (@ 0.8km, $10^{-5}$ BER, 2.4GHz)
	1Hop 통달거리(LOS)	- 3Km 이상 (@ 4Mbps, $10^{-5}$ BER, 2.4GHz)
	최대 Hop수	- 5Hop 이상
	이동속도 지원	- 최대 300Km/h (상대속도)
	HW기반 보안 기능	- PUF (Physical Unclonable Function)기반 보안 기능 지원 . 물리적 Key 은닉 . 인증 및 데이터 전송 암호화 . 분실/탈취시 핵심데이터 소거 및 불능화
	크기	- 40mm x 40mm x 10mm 이하
	중량	- 35g 이하 (안테나 제외)
	운용온도	-20℃ ~ +70℃
	인터페이스	- 4종 (Ethernet, SPI, UART, I <sup>2</sup> C) 이상
	연동 표준화 (활용성 증대)	- 인터페이스 및 API 표준 문서 및 SDK 제공 . 통신모듈-FC/제어부 (임무 및 전송제어, 위치정보 등) . 무선통신모듈-지상 제어국 (인증, 보안) . 주파수 및 출력에 따른 맞춤형 RF부 장착 구조
모뎀 SoC	대전자전	- Active Jammer Cancel 기능 지원 (J/S 10dB 이상)
	다중접속	- UL/DL 환경을 고려한 다중접속 기술개발 . SC-FDMA, OFDMA 등
	변조방식	- 가변 변조방식 지원
	상대속도 측정	- Non-GPS 기반 패킷별 측정 (FANET 라우팅 지원용)
	MCU	- FANET SW제어용 MCU 내장 (32Bit 160MHz 이상)
	크기	- 12.5mm x 12.5mm 이하
	소모전력	- 400 mW 이하 (Active 상태), 200 mW 이하 (대기 상태)
FANET 통신 기술	임무 프로파일	- 4종 이상 지원 (감시정찰, 공격, 통신중계, 소방방재 등)
	응용/전송 계층	- 영상, 데이터, 제어정보 QoS 차별화 전송 . 1Hop 제어정보 전달 지연 50ms 이하
	라우팅	- GPS / Non-GPS 고속이동환경에서 운용 가능한 FANET 프로토콜 3종 이상 지원

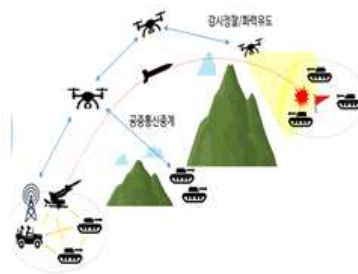


	매체 접근제어	- 3중 이상 토폴로지 지원 (Star, Extended Star, Mesh 등)
		- UL/DL 비대칭 동적 프레임 구조 - 복합방식(경쟁/예약기반) 접근제어 - 고속 링크적응 (PHY 측정결과 활용)
		- 자원예약지연 : 100ms 이하 @1Hop
		- 전달지연 : 50ms 이하 @1Hop
시뮬레이터	LLS / SLS	- LLS 시뮬레이터 제작 및 링크 성능검증 - SLS (OPNET 기반) 시뮬레이터 제작 및 FANET 성능검증 · LLS 와 연동하여 통합 시뮬레이션 수행
테스트 베드	무선채널환경	- 무선채널 시뮬레이터 기반 통신모듈의 기능 및 성능 검증 · 16개이상 노드의 Full-Mesh 무선링크 모의 · SLS와 연동하여 동적 운용상황을 반영한 검증 수행
	지상제어국	- 지상제어국 모의 환경 구성 (다중 임무제어, 영상 수신)
	보안시험 환경	- 인증 및 암호화 전송 검증 환경 · PUF Key 프로비전닝, 통신모듈 인증, 암호화(TLS) 전송

모뎀 SoC 및 통신모듈



임무가변형 FANET 기술



M&S 및 테스트베드



## 2. 국내외 기술현황 및 전망

미국/유럽 등 해외의 경우 드론 제어를 위한 통신기술 연구가 2000년대 들어오면서 활발히 진행되고 있으며, 국내 민수분야에서는 2014까지 드론 제어 전용 통신은 연구되지 않고 군수분야에서 대형드론 제어를 위한 시스템 연구가 수행중임

- 군사용 중/대형 드론용 통신기술은 실용화되어 운용 중 (TDL, CDL 등)
- 소형드론용 통신은 상용칩(WiFi 등)에 MANET 기술을 튜닝하여 검증하는 기초 수준의 연구 수행 중

- FANET 환경을 고려한 전용 SoC 및 프로토콜을 상용화 한 사례는 없음



<드론 통신 연구동향 예시>

#### 가. 국내 기술동향 및 전망

- 군사용 중/대형 드론용 통신장치는 방산업체 및 연구기관을 중심 개발하고 있으며, 일부는 실용화 되어 운용 중
- 소형 드론용 통신은 WiFi 기반 자가망 운용, 4G/LTE 등 공중망을 이용한 통신 수행에 대한 연구 수행 중
- FANET 특화된 모뎀 SoC, 통신모듈 개발사례는 확인되지 않음.
- 드론 통신 / 저장정보 / 운용 SW에 대한 보안은 연구 중, 특히 PUF 기반 보안기술 적용사례는 없음

#### 나. 국외 기술동향 및 전망

- 군사용 중/대형 드론용 통신장치는 국과연 중심으로 방산관련 업체들이 개발을 수행 중
- 소형 드론용 통신모듈 개발에 대한 특별한 연구가 수행되고 있지 않음, (WiFi에 MANET 기술을 튜닝하여 적용하거나, LTE 망을 이용한 드론 통신에 대한 연구는 수행 중)
- FANET 관련하여 학계에서는 MANET/VANET 기술을 튜닝하여 시뮬레이터 검증 수준에서 연구, 국책 연구기관에서는 FANET 알고리즘에 대한 기초연구를 수행 중

### 3. 연구개발계획

#### 가. 단계별 연구개발 목표

- o 민·군수용 (시험개발 3년)



구분	연구개발 목표	연구개발 내용	주요결과물
시험 개발	1. 개요 다. 항의 연구개발 최종목표 참조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PHY, MAC, NWK 프로토콜 규격 개발</li> <li>• LLS, SLS 설계/개발/성능분석</li> <li>• M&amp;S 및 기술 기능/성능 검증</li> <li>• 모뎀 SoC 개발</li> <li>• RF, BB 보드 설계/개발</li> <li>• FPGA 기반 모뎀 개발</li> <li>• PUF 및 연동 인터페이스 설계/개발</li> <li>• PHY, MAC, NWK 프로토콜 SW 개발</li> <li>• RF, BB 보드 보안개발 및 안정화</li> <li>• PUF 및 인터페이스 보안 및 안정화</li> <li>• FANET, 보안 기능 검증용 테스트베드 설계</li> <li>• 통합시험(테스트베드를 활용)</li> <li>• 펠드시험</li> </ul>	5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목 가. 항 연구개발 결과 최종 제시물 참조

※ 위 표는 시험개발단계에서 요구되는 연구내용의 예시이며, 과제 신청시 본 문서의 [1-다.연구개발 최종 목표] 항목을 참고하여 최종 목표 달성을 위한 연차별 목표를 연구개발계획서에 제시

#### 나. 사업기간 및 연구개발비

- 사업기간 : 3년
- 총 연구개발비(정부출연금) : 44.5억원(시험개발)

### 4. 적용 및 파급효과

#### 가. 적용분야

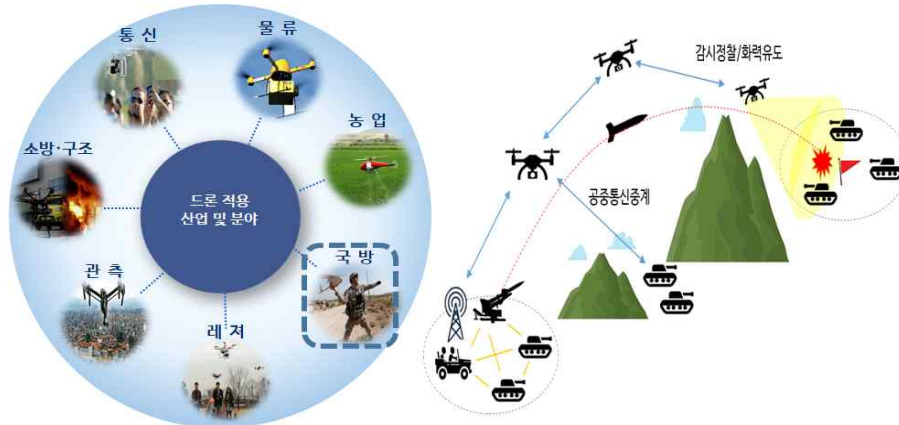
- 민수 :
  - 감시정찰 : 산불/화재감시, 시설감시, 침입자탐지/추적, 환경감시, 해양안전감시 등
  - 방송용 : 영상촬영, 현장 영상중계 (건물 및 지형차폐로 인한 중계장애 극복) 등
  - 산업용 : 교통/운송용(드론배송/배달), 농업용(농약살포/원격파종/병충해상황감시) 등

#### ○ 군수 :

- 감시정찰 : 적위협감시, 공격드론감시, 침입자탐지/추적, 시설감

시경계 등

- 전투임무 : 무장공격, 적드론대응/파괴(드론킬러), 임무장치투하, 화력유도 등
- 통신중계, 방호, 공중재보급 등을 포함하여 단일 및 다중드론에 포괄적으로 활용



<드론 적용사례 : 지상부대와 공중드론과의 임무협업수행>

## 나. 파급효과

o 기술적 측면 :

- 현재 국내 FANET 통신모듈에 대한 기술성숙도 (TRL : Technical Readiness Level)를 실험 단계인 4단계(실험실 환경에서 성능 입증)이며, 본 개발사업을 통해 실용 제품화 단계인 7단계(실 운용환경 체계시제품 성능 시연) 수준으로 향상을 기대
- 세계적으로 미 개척분야인 드론용 FANET 통신모듈의 최초 상용화를 통한 핵심 지재권의 선제적 확보 추진 (임무가변형 프로파일링 기술, Cross Layer 정보를 활용한 FANET 라우팅 기술, 통신모듈의 활용성 증진을 위한 연동표준화 기술 등)
- 본 기술을 통한 기술적 향상 및 파급 효과
  - 열악한 드론 통신환경 (재밍, 페이딩, 도플러 등)에서 통신 성능 확보
  - FANET 기술을 통한 통달거리 확장, Non-LOS 환경의 통

#### 신계약 극복

- 임무가변형 프로파일링 기술을 통한 다양한 임무 및 응용에 효과적으로 활용
- PUF 기술적용으로 보안성 강화 (HW 기반 키은닉, 보안 인증, 암호화 통신 및 유실/탈취시 핵심 데이터 소거 등)
- 소형화 (4x4x1 Cm<sup>3</sup> 이내) 및 경량화 (35g 이내)를 통한 중·소형급 이하 장착

#### o 경제·산업적 측면 :

- 시장 및 일자리 창출
  - 국내 중소형급이하 드론 통신부품/모듈 부문 2025년 1,368억원 시장 (군수 936억 + 민수 432억) 및 약 1,080명 일자리 창출에 기여
    - 국내 무인이동체 시장규모는 2025년 2조2천억원(군수 1조 3천억 + 민수 9천억), 4만5천명의 일자리 창출 전망. <출처 : Teal Group / 한국항공우주산업진흥협회 “2016년 무인기 산업 국내외 현황조사 및 수요 기반 발전방안연구 보고서” >
    - 중소형급이하 드론 시장의 비율 : 전체시장 중 군수 60%, 민수 40% 규모
    - 통신부품 /모듈은 드론 장비 가격의 12%로 가정
- 수입대체 & 수출증대
  - 대부분 수입에 의존하고 있는 드론의 통신 부품/모듈의 수입 대체 및 수출 증대
  - 수입대체효과 : 2025년 국내 통신 부품/모듈 시장(1,368억)의 약 50%(684억원)
  - 수출증대효과 : 2025년 글로벌 통신부품/모듈 시장(1조 4천억)의 약 10%(1,400억원)
- 세계 5위 무인기 산업국 견인
  - 군용 드론 시장은 미국과 이스라엘이 우위를 점하고 있으며 상업용 드론 시장은 중국이 1위를 차지하고 있음.

드론 산업에 FANET 첨단 통신기술 접목함으로써 2023년까지 세계 5위 무인기 산업국 도약 목표를 견인할 수 있을 것으로 기대

o 군사적 측면 :

- 지능화/무인화 등의 4차 산업혁명의 기술과 국방의 접목, 인구 절벽으로 인한 병력자원의 부족, 군사 및 안보 상황의 변화에 따라 드론은 미래전장 게임체인저로서의 역할을 수행할 드론봇 전투체계의 핵심요소로 다양한 응용이 기대되고 있음
- 특히, 대전자전/보안 기능을 갖춘 본 임무가변형 FANET 통신기술의 적용을 통해 다중드론의 협업능력, 고속 이동성 지원 및 통달거리가 향상 뿐 아니라, 지형/건물 차폐 등의 Non-LOS 환경 제약을 극복할 수 있게 됨으로써 감시정찰, 중계, 전투 등의 다양한 임무 수행 시 드론의 군사적 가치 및 활용성이 증대됨



<드론의 군사적 활용 (감시정찰 드론)>

- 방산관련 전문 컨설팅업체인 티 그룹(Teal Group)의 2016년 시장 조사에 의하면 무인항공기시스템(Unmanned Aerial

System)는 향후 10년 동안 UAS 시장은 총 650억 달러에 달할 것이며 군용 드론 수요가 드론 시장의 90% 이상을 차지할 것으로 예측함. 따라서 드론 분야의 첨단기술인 임무가 변형 FANET 통신기술을 활용한 드론봇 무기체계개발로 방위력 증강 뿐 아니라 방산수출의 증대 효과를 기대함

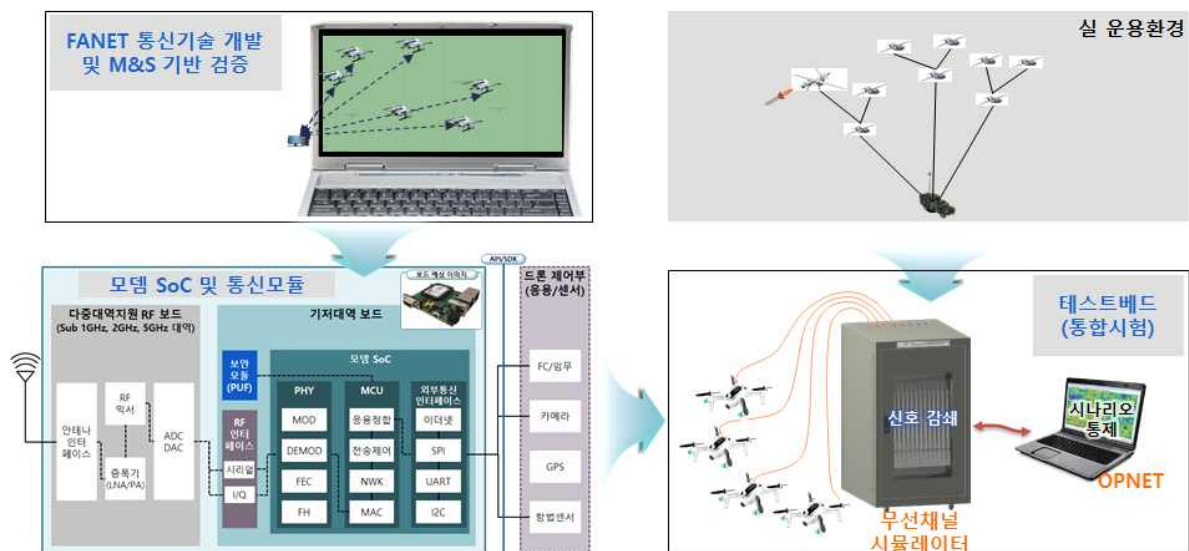
- 통신운용환경 및 수행임무 측면에서 유사성이 높은 국방 지상무인로봇 (견마, 초견로봇 등) 분야에 본 기술의 활용을 통한 직간접적 파급효과를 기대

## 5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

### 가. 연구개발 결과 최종 제시물

중·소형 고속드론에 탑재하여 다양한 임무환경에서 지상통제소 및 인접드론과 FANET 기반으로 제어/임무정보 교환을 수행하고, 데이터 보안 및 지상부대와 협업 임무를 지원하는 주파수 가변형 소형/경량/항재밍 드론 통신기술(모뎀 SoC, 통신모듈, 프로토콜 등)을 개발

FANET 통신기술 개발 및 M&S 기반 검증, 모뎀 SoC 및 통신모듈 개발, 테스트베드 구축 및 기술검증



<개발범위 (통신기술 개발, SoC 및 모듈 개발, M&S 및 테스트베드 검증)>

항 목	주요 업무	주요 산출물
FANET 통신기술	FANET 통신 프로토콜 절차 정의 - PHY, MAC, NWK  모뎀 SoC에서 운용될 프로토콜 SW 개발 - MAC, NWK	<ul style="list-style-type: none"> <li>프로토콜 규격</li> <li>SW 설계서</li> <li>SW 시험결과서</li> <li>SW 구현물</li> </ul>
모뎀 SoC	모뎀 프로토타입 개발 모뎀 SoC 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>SoC 설계서</li> <li>SoC 시험결과서</li> <li>SoC 구현물</li> </ul>
통신 모듈	통신모듈 개발 - RF 보드 개발 - Baseband 보드 개발 - PUF 기반 암호 기능 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>HW 설계서</li> <li>HW 시험결과서</li> <li>HW 구현물</li> </ul>
시뮬레이터	LLS 및 SLS 시뮬레이터 개발 링크 및 시스템 레벨 기능/성능 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>시뮬레이터 설계서</li> <li>기능/성능 검증 결과서</li> <li>시뮬레이터 구현물</li> </ul>
테스트베드	테스트베드 구축 통합/필드 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>테스트베드 설계서</li> <li>통합시험 결과서</li> <li>테스트베드 구현물</li> </ul>

#### 나. 연구개발 결과 평가항목

단계구분	시험평가항목		시험평가방안	비 고
시험개발	통신 모듈	운용주파수	테스트베드 검증, 비행시험	
		전송속도	테스트베드 검증	
		1Hop 통달거리(LOS)	시뮬레이터 검증, 테스트베드 검증, 비행시험	
		최대 Hop수	테스트베드 검증	
		이동속도 지원	테스트베드 검증, 비행시험	
		HW기반 보안기능	테스트베드 검증	
		중량	테스트베드 검증	
		크기	테스트베드 검증	
		인터페이스	테스트베드 검증	
		연동표준화	테스트베드 검증	
	모뎀 SoC	대전자전	테스트베드 검증	
		다중접속	테스트베드 검증	



		모듈레이션	테스트베드 검증	
		상대속도 측정	테스트베드 검증, 비행시험	
		MCU	테스트베드 검증	
		크기	테스트베드 검증	
		소모전력	테스트베드 검증	
	FANET 통신기술	임무프로파일	시뮬레이터 검증, 테스트베드 검증, 비행시험	비행시험시 통합수행
		응용계층	시뮬레이터 검증, 테스트베드 검증, 비행시험	
		전송제어	시뮬레이터 검증, 테스트베드 검증, 비행시험	
		라우팅	시뮬레이터 검증, 테스트베드 검증, 비행시험	
		매체접근제어	시뮬레이터 검증, 테스트베드 검증, 비행시험	

#### o 시뮬레이터 검증

- LLS 시뮬레이터를 활용하여 통달거리 등 링크의 성능을 검증
- SLS 시뮬레이터를 활용하여 FANET 통신 프로토콜의 운용 성능을 검증

#### o 테스트베드 검증

- SLS 시뮬레이터 통제하 무선채널 시뮬레이터로 채널환경을 모의하고, 지상제어국 및 인증서버 에뮬레이터를 연동하여 최대 16개의 통신모듈간 통신성능을 실험실에서 검증 (검증 요소에 따라 환경은 가변하여 구성)
- 중량, 크기, 인터페이스, MCU 등 육안 검증항목을 포함하여 확인

#### o 비행시험

- 운용시나리오를 기반으로 지상제어국 및 인증서버 에뮬레이터를 연동하여 최대 16개의 통신모듈간 통신성능을 실제 비행을 통해 검증

## 6. 참여 요건

### 가. 추진 체계 요건

- 주관연구기관 및 참여기관 : 제7조제2항 및 동법 영 제14조제2항 각 호에 해당하는 기관 또는 단체

※ 응용연구 및 시험개발의 경우에는 주관연구기관 또는 참여기관에 1개 이상의 기업 참여 필수(제27조제4항) 단, 기초연구의 경우에는 기업참여가 필수사항이 아님

- 기업분담율 : 민·군기술협력사업 공동시행규정 제27조

### 나. 연구책임자의 자격 및 과제 신청요건

- 연구책임자의 자격 : 관련분야의 연구 경험이 풍부한 중견 연구자를 책임자로 선임하여 연구의 최종목표를 달성할 수 있도록 계획, 업무프로세스 정립, 원활한 추진 및 조정과 과제관리를 수행할 수 있어야 한다.
- 과제 신청요건 : 주관연구기관은 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며, 필요시 컨소시엄을 구성할 수 있다.

### 다. 기타

- 최종평가는 공인시험기관의 성적서를 반영하여 평가(민군기술협력사업 공동시행규정 제31조)
- 연차평가는 매년 11월 수행을 가정하여 계획수립

## 7. 참고문헌

- 한국항공우주산업진흥협회, “무인기 산업분석”, 무인기 산업 국내외 현황조사 및 수요기반 발전방안연구보고서, 한국항공우주산업진흥협회, 2016.12
- Omar Sami Oubbati 외, “A Survey on Position based Routing Protocols for FANETs, Vehicular Communications, 2017.12
- 왕기철 외, “무인기 기반의 IOT 통신구조의 보안기술 동향”, 주간기술동향, 2017.8.16

8. 과제 문의사항 연락처

소속	성 명	연락처
민군협력진흥원	방 충 혁	042-607-6047