

# 전원 불안정 감내 자율적 에너지 기반 컴퓨팅 시스템SW 기술

Energy-driven Computing - New Computing paradigm

ETRI 신진아 선임연구원



# CONTENTS

- 01 컴퓨팅 패러다임의 변화
- 02 Energy-driven 컴퓨팅 필요분야
- 03 Energy-driven 컴퓨팅 SW플랫폼의 주요기술
- 04 Energy-driven 컴퓨팅 기술의 국내외 현황
- 05 Energy-driven 컴퓨팅 기술 구성
- 06 Energy-driven 컴퓨팅 개발 전략
- 07 공개 SW 추진전략





# 새로운 컴퓨팅 환경의 필요성

# 01

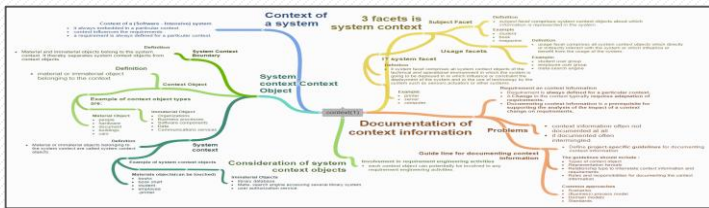
## 컴퓨팅 패러다임의 변화

### 기존 HW/SW의 의존적 한계

- 안정적 전력 공급환경에서만 정상동작 가능  
다양한 환경에서 동작하는 스마트 디바이스 증가



- 미리 예측한 상황(Context)에서 동작



### 주요 기술의 발전

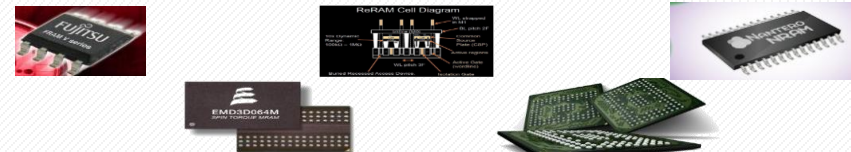
#### ■ Energy Harvesting

- 주변 에너지를 취득하여 스스로 전원 공급
- 유선(또는 무선의) 연속된 전원 공급 최소화



#### ■ 비휘발성 메모리 (NVM, Non-Volatile Memory)

- FeRAM, MRAM, ReRAM, PRAM
- SRAM, DRAM, Flash 의 한계 극복



#### ■ Artificial Intelligence

- 데이터 중심 학습 및 추론을 통해 상황/동작 결정
- 온 디바이스 환경을 위한 AI 부상
- 동적 상황 데이터를 통해 새로운 학습 수행



〈문제점〉 개별적 컴퓨팅 기술들을 아우르는 新 컴퓨팅 시스템 SW 및 플랫폼 기술 부재

# 02

## Energy-driven 컴퓨팅 필요 분야 (1)

### 국가지능화 자율형 센싱 인프라

- <Massive IoT> 응용 환경의 다변화와 대규모 운영에 대비한 Battery-less 컴퓨팅 패러다임 필요



< Massive IoT 및 에너지 제약 환경에서의 차세대 IoT >

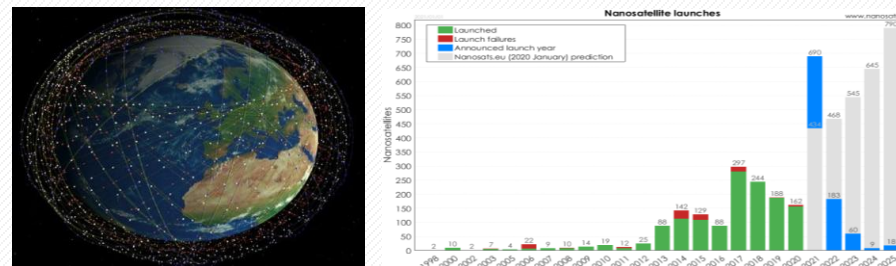
- <Wearable IoT> 초고령화 사회에 대비한 국민 헬스케어 및 노약자 안전지킴 필요



<인체 삽입형 메디컬 IoT 응용 기술>

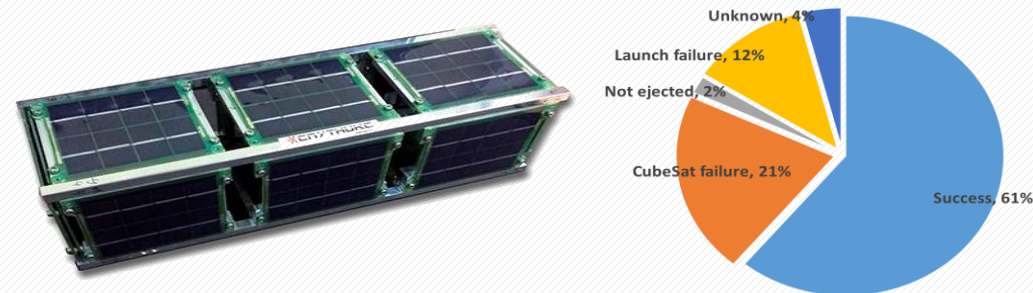
### 차세대 자율형 큐브 위성

- <큐브 위성> NAP 및 6G 통신 기술의 적용 확대에 대비한 위성 컴퓨팅 신뢰성 확대 필요



<초소형 큐브위성 활용의 연도별 추이 및 증가 예측>

- <Energy-driven 큐브 위성> 높은 운영 실패율 및 예측 못한 에너지 소모의 극복 필요



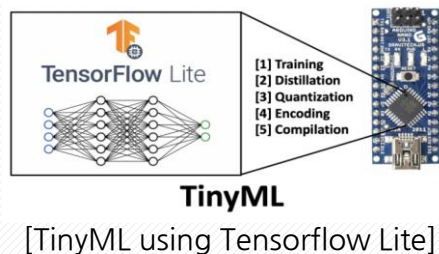
<3U 크기의 큐브 위성 및 운영 실패율 분석>  
- '05-'18 큐브위성 848기 통계 데이터, 실패율 39% -

## 02

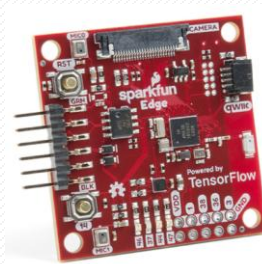
## Energy-driven 컴퓨팅 필요 분야 (2)

## On-Device AI 기술의 부상

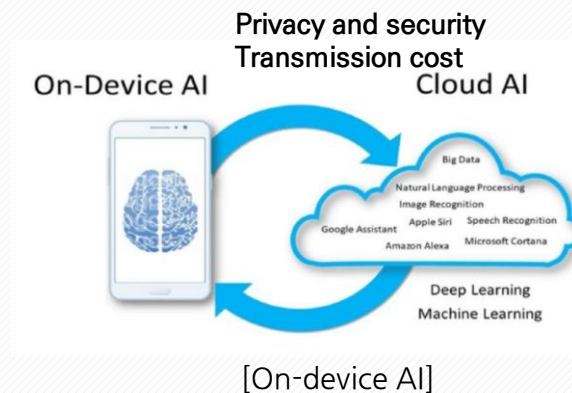
- 초저전력 시스템을 위한 머신러닝
- 온디바이스 AI용 HW 및 SW 플랫폼의 발전
- 모바일 엣지 환경인 온디바이스 AI는 기계학습 수행 시 오프로딩으로 인한 빈번한 통신, 서비스 지연 및 프라이버시 문제 발생



[Arduino for TinyML]



[Edge Board for IoT]



전력이 불안정한 상황에서도 온보드에서 기계학습이 가능하도록 지원

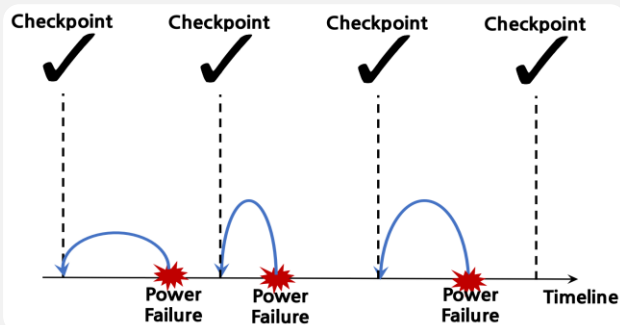


# Energy-driven 컴퓨팅의 해결 기술

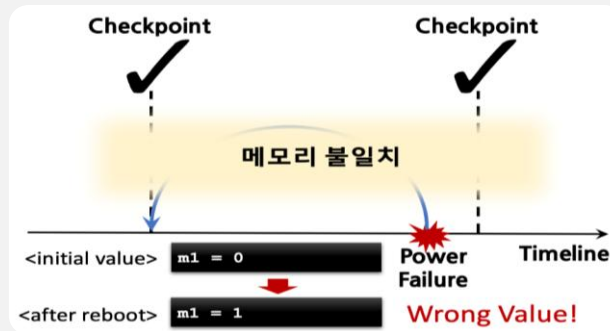


## Intermittent Computing

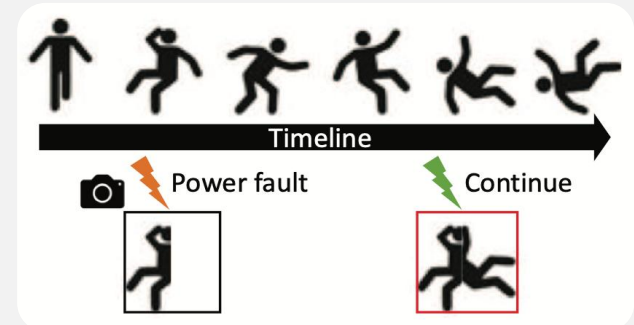
- 불안정한 전원 환경에서 에너지 하베스팅으로 얻어진 전력으로 동작하는 컴퓨팅 기술
- 진행 보장성 및 데이터 일관성을 유지하면서 프로그래머의 의도대로 수행의 적시성을 보장해야 함

진행 보장성  
(Forward Progress)

- 체크포인트 등의 기술을 통해 **프로그램의 진행을 보장**
- 에너지 환경 변화에 따른 **무한 초기화 (Stagnation) 방지**

메모리 일관성  
(Memory Consistency)

- 휘발성 execution state 와 비휘발성 **메모리 간 일관성 필요**
- 체크포인트 복구 후 메모리 상태가 달라지는 **메모리 불일치**

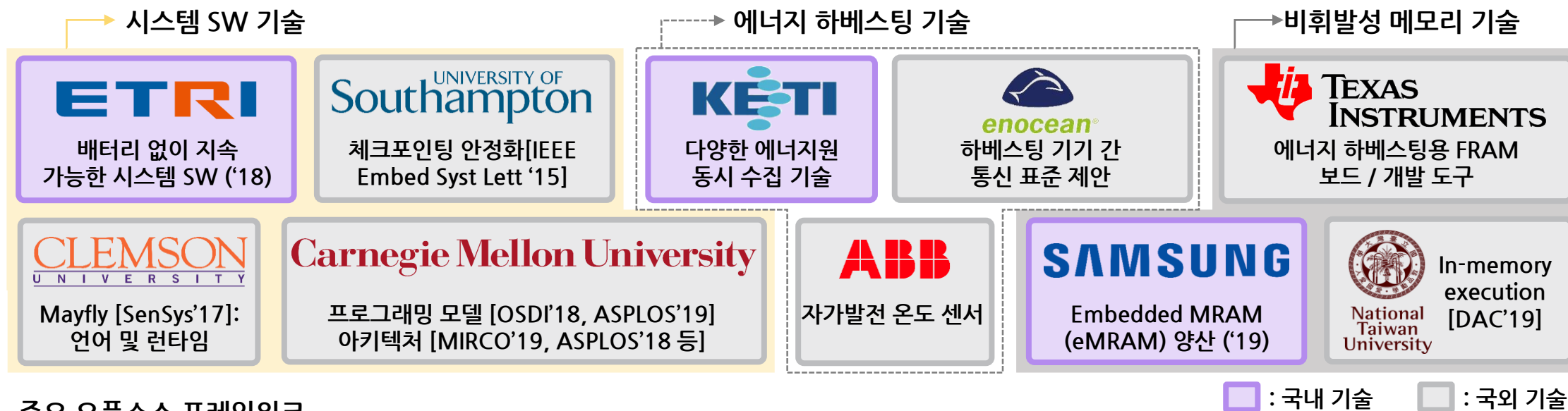
수행 적시성  
(Preserving Program Semantics)

- **원자성 (Atomicity)**: 특정 코드들은 한번에 수행을 완료해야 함 (e.g., image capturing)
- **적시성 (Timeliness)**: 특정 시간 내에 처리해야하는 데이터 존재



## Energy-driven 컴퓨팅 시스템SW 기술 개발 필요

- 질적, 양적으로 국내외 기술 격차가 존재하며, **요소 기술들을 통합하는 프레임워크 부재**
- 분야를 선도하는 오픈소스 프로젝트 부재



## 주요 오픈소스 프레임워크

명칭	목적	주요 Contributor
Intermittent-OS (★16)	전력 오류에도 동작하는 인터미턴트 운영체제	대만 중앙연구원
Ekho (★13)	하베스팅 환경 에뮬레이션 도구	미국 클림슨대
InK (★4)	에너지 하베스팅 장치의 런타임 라이브러리	네덜란드 델프트공대
pvlb (★461)	태양광 에너지 모델링	미국 NumFOCUS (비영리기관)

- 주요 기여자 외 참여가 적음
- 활발하지 않은 업데이트 (최신 커밋: 6개월~2년)
- 에너지 모델에 특화

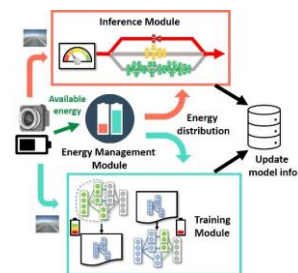


# Energy-driven 컴퓨팅의 기술구성 및 공개소스 전략

# Energy-driven 컴퓨팅 기술 구성(1)

Energy-driven  
컴퓨팅 시스템  
검증용 테스트베드

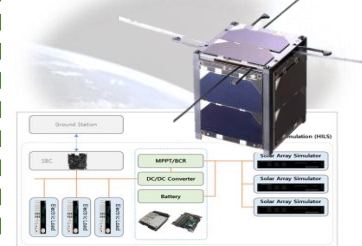
Energy-driven 기계학습



웨어러블 사물인터넷



큐브위성을 위한 HILS



Energy-driven  
컴퓨팅 시스템  
SW

Energy-driven 라이브러리

전력 관리부

CPU 관리부

메모리 관리부

하드웨어 추상부

보안부

전원공급기

전력

파워온 리셋

에너지 버퍼

마이크로컨트롤러

컴파일러

에너지  
프로파일러

시뮬레이터

디버거

주변 에너지



전원불안정  
상황인지  
전력관리 및 제어

Energy-driven  
컴퓨팅 시스템  
HW

전원 불안정  
상황인지  
시스템 도구

# Energy-driven 컴퓨팅 기술 구성(2)

Energy-driven  
컴퓨팅 기술 공개

오픈소스  
커뮤니티 운영

Energy-driven 컴퓨팅 시스템 검증용 테스트베드

초경량 하드웨어 기반  
Energy-driven  
기계학습 프레임워크

불안정 전력 상황  
웨어러블 IoT 모듈

초소형 큐브위성  
시뮬레이터

전원 불안정  
상황 인지  
전력 관리 및 제어

불안정 전력 관리/제어 모듈

전력 간섭 제거 및 안정화 모듈

Energy-driven 컴퓨팅 시스템 SW

Energy-driven 컴퓨팅 지원 초소형 운영체제

비휘발성 인터미턴트 컴퓨팅 지원  
컴파일러

Energy-driven 컴퓨팅 시스템 HW

비휘발성 인터미턴트  
컴퓨팅 아키텍처

전원 불안정 상황  
인지 시스템 도구

비휘발성 메모리  
시스템 시뮬레이터

에너지 프로파일링

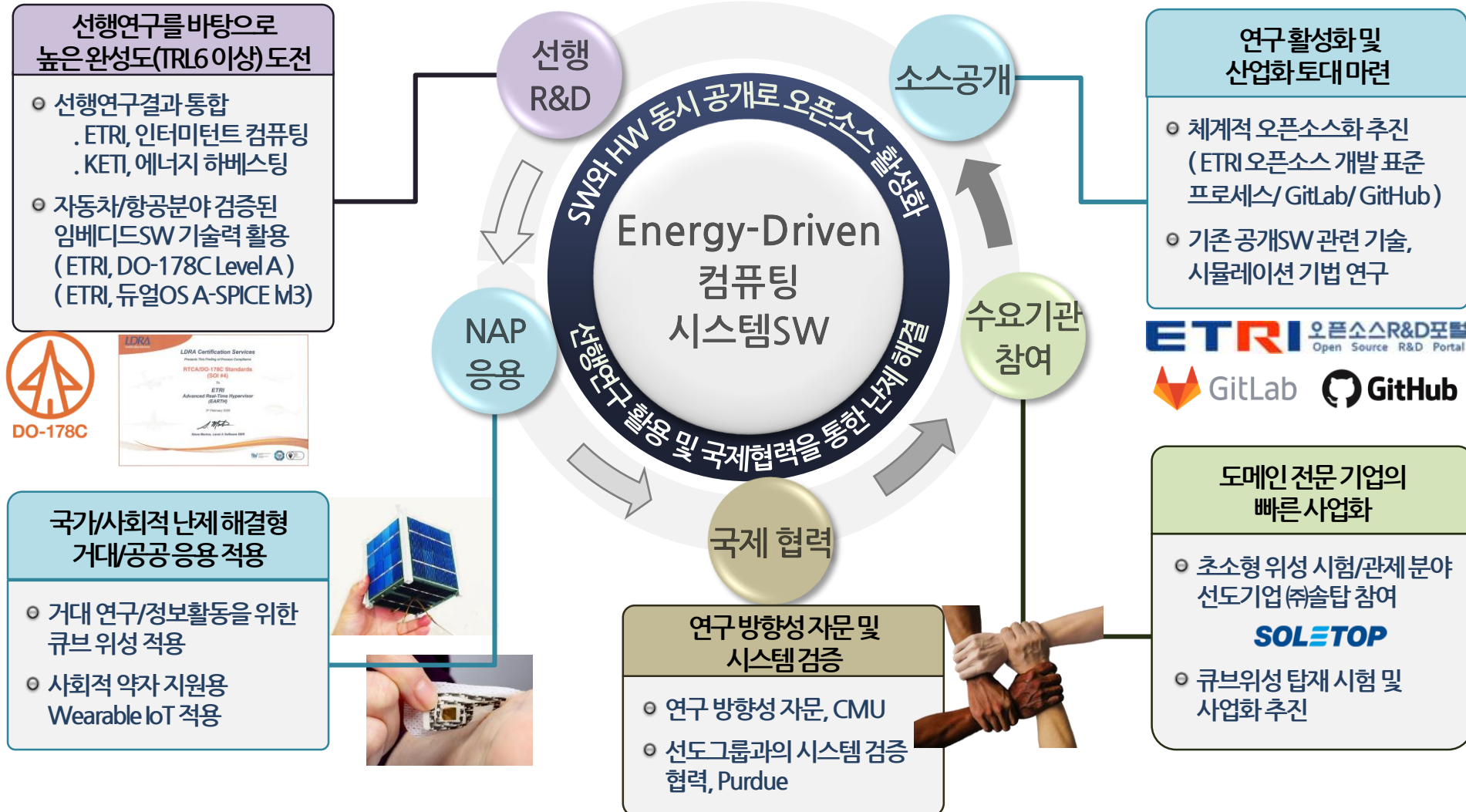
실행 검증 디버거

# Energy-driven 컴퓨팅 개발 전략

국내/국제 최고 기술 협력

극한 환경 실적용 기술 개발

기술/사업 선순환 공개 소스화



# 공개 SW 추진 전략

사업 참여자 중심  
커뮤니티 운영

외부 개발자 협력  
적용 사례 배포, 활성화 추진

2021

2022

2023

2024

- 공개SW 환경 구축
  - ETRI 오픈소스 표준프로세스
  - ETRI 오픈소스 R&D 포털
- 과제 참여기관 결과물 공유

- 개발/수요 커뮤니티 발굴
  - ELC (Embedded Linux Conf.)
  - IoT, CubeSat 커뮤니티
- 서브시스템 협력 개발

- 내/외부 협력 공개 SW 환경
  - 외부 공개 리파지토리 관리
  - NIPA 공개 SW 협력
  - 오픈소스 포럼 연계
- 에너지기반 컴퓨팅 커뮤니티 구축

- 사용자 기술지원 및 유지보수
- 검증 레퍼런스 시스템 공개
  - Wearble IoT
  - Cube Sat
- 사업화 모델 발굴

※ (저장소) 서브시스템 및 검증용 테스트베드 시스템의 협업 및 공개 저장소(OS, 에너지, 도구, AI)

※ (커미트) 외부 사용자에게 최신 결과물 및 안정적인 릴리즈 제공을 위한 적절한 수준 유지

※ (홍보) 적극적인 커뮤니티 발굴 및 사업화 지원을 위한 오픈 커뮤니티 협력, 기술 세미나, 학회 발표 등

# 감사합니다

전원 불안정 감내 자율적 에너지 기반 컴퓨팅 시스템SW 기술

