

## 이동수요맞춤형 고출력 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

1세부 : 한국전기연구원

1세부위탁 : 경남대학교

2024. 09. 27

KERI 한국전기연구원

경남대학교  
KYUNGNAM UNIVERSITY

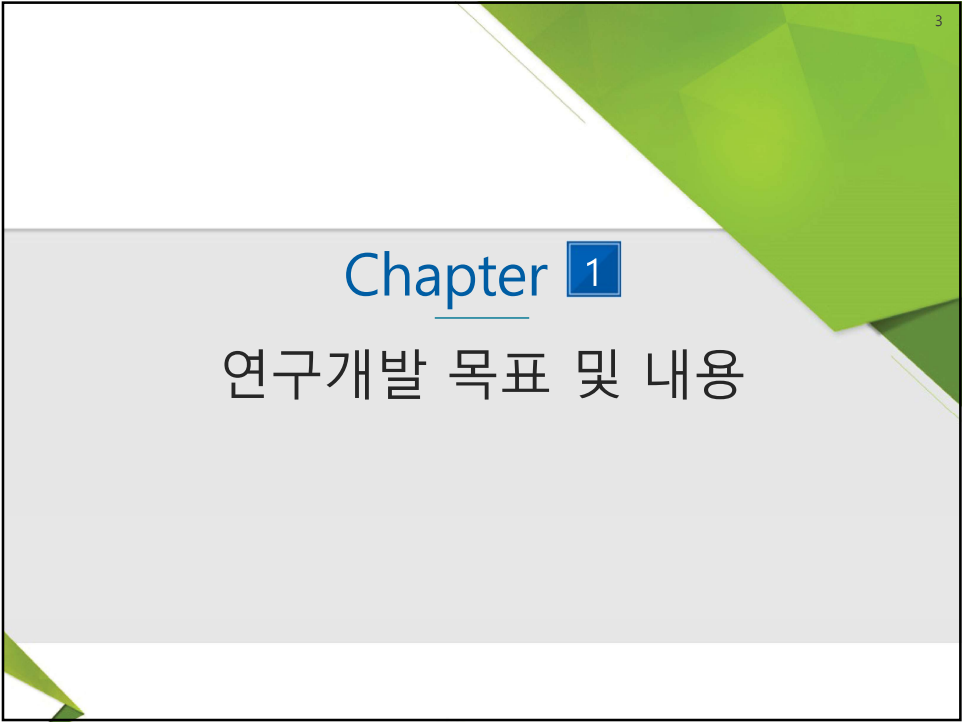
1

## 순서

1. 연구개발 목표 및 내용
2. 2차년도 연구개발 실적
3. 3차년도 연구개발 계획



2



3

1

연구 내용

이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

4

연구개발 목표

연구개발 목표

최종목표	o 미래 무인이동체를 위한 고효율 다상전동기 및 에너지관리시스템을 개발하여, 육공분리합체형 무인이동체의 공중모듈에 탑재 실증 시험	
세부목표	1. 무인이동체 적용 목적의 에너지관리시스템 개발 및 분산전기추진 HILS 개발 2. 경량/고출력 다상 영구자석전동기(PMSM) 개발 및 2세부 개발품의 육공분리합체형 공중모듈 기술실증기 적용시험 지원	
연차별목표	2단계 1 차년도 (2023)	① 에너지관리시스템 통합 HILS 설계 ② 무인이동체용 분산전기추진 시스템 개념설계 및 기본설계 ③ 기술실증기 적용용 다상전동기 환경시험 분석 및 납품시제(TRL7)의 성능검토 지원, 10kW급 다상전동기 시험 분석 및 개선 설계, 다상전동기 플랫폼화 모델 해석적 검토
	2단계 2 차년도 (2024)	① 에너지관리시스템 통합 HILS 구현 ② 무인이동체용 분산전기추진시스템 상세설계 및 시제작 ③ 10kW급 다상전동기 개선 설계 완료 및 다상전동기 플랫폼화 모델 설계 (부산대 발표자료 참조)
	2단계 3 차년도 (2025)	① 기술실증기 검증용 에너지관리시스템 설계 및 시제품 제작 ② 무인이동체용 분산전기추진 시스템 시제작 및 성능시험 ③ 기술실증기 적용용 다상전동기 체계시험 지원, 10kW급 다상전동기 보완시제 및 다상전동기 플랫폼화 모델의 시험 분석
	2단계 4 차년도 (2026)	① 에너지관리시스템 기술실증기 적용 성능시험 ② 무인이동체용 분산전기추진시스템 HILS 적용 실증시험 <- 육공복합 '기술실증기'에 적용 안됨. ③ 10kW급 다상전동기 최적 설계 및 완성시제의 시험 분석
	2단계 5 차년도 (최종,2027)	① 에너지관리시스템 개발 최종보고서 ② 무인이동체용 분산전기추진시스템 시험평가 보고서 ③ 고효율 전기구동장치 최종보고서

4

1	이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현				5
	연구 내용	평가항목의 연차별 목표			
▶ 평가항목의 연차별 목표					EMU : Energy Management Unit(에너지관리장치) 2단계에서는 실증을 위해서 DC-DC컨버터와 일체형으로 개발
평가항목	가중치 (%)	관련 세부 목표	연차	연차별 목표 (조건/환경)	
(정성) 에너지관리 시스템의 개발 및 HILS 검증	30	1	4차년도 (2단계 1차년도)	-. 무인이동체 공통 적용 에너지관리시스템 검증용 통합 HILS 설계	
			5차년도 (2단계 2차년도)	-. 무인이동체 공통 적용 에너지관리시스템 검증용 통합 HILS 시제품 구현 <b>FDC 아이언버드 시험 적용</b>	
			6차년도 (2단계 3차년도)	-. 무인이동체 공통 적용 친환경 에너지관리시스템 시작품 완성	
			7차년도 (2단계 4차년도)	-. 에너지관리시스템 기술실증기 실증용 성능시험 완료	
			8차년도 (최종) (2단계 5차년도)	-. 최종보고서 작성	
(정성/정량) 분산 전기 추진 시스템의 개발 및 HILS 검증	40	1	4차년도 (2단계 1차년도)	-. EMU 제어유닛의 제어주기 : 1ms 이내 -. EMU 제어유닛의 실시간 모니터링 수: 5개 이상 (발생에너지, 부하전류, 배터리전압, 온도 등)	
			5차년도 (2단계 2차년도)	-. 분산전기추진시스템의 구성품인 EMU의 정상상태 요구출력 제어 오차 3%이내 달성 확인, EMU의 경각용량은 수kW급으로 고려, HILS에서 통신명령으로 출력지령을 것.	
			6차년도 (2단계 3차년도)	-. 분산전기추진시스템 기술실증기 요구출력 만족도 100%달성 (프로토타입추진시스템의 기계적 출력(rpm,토크)을 HILS 지상시험을 통해 확인)	
			7차년도 (2단계 4차년도)	-. 분산전기추진시스템의 제어/통신 성능시험 (추가함)	
			8차년도 (최종) (2단계 5차년도)	-. 최종보고서 작성	
(정성) 10kW급 다상전동기 개발 및 플랫폼화 기술개발	30	1.2	4차년도 (2단계 1차년도)	-. 10kW급 다상전동기 개선 설계 -. 다상전동기 플랫폼화 모델 해석적 검토	
			5차년도 (2단계 2차년도)	-. 10kW급 다상전동기 개선설계 완료 -. 다상전동기 플랫폼화 모델 설계	
			6차년도 (2단계 3차년도)	-. 기술실증기 적용용 다상전동기 체계시험 지원 -. 10kW급 다상전동기 보완사제시험결과 분석 -. 다상전동기 플랫폼화 모델 시험결과 분석	
			7차년도 (2단계 4차년도)	-. 10kW급 다상전동기 최적설계 -. 10kW급 다상전동기 완성사제 시험 및 분석 (2세부 협력)	
			8차년도 (최종) (2단계 5차년도)	-. 개발된 전동기관련 최종 보고서 작성	

1

이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

6

연구 내용

연구개발 추진 일정

▶ 추진체계 및 일정

	에너지관리시스템	HILS /분산전기추진		고출력 전기구동장치		
	2단계 계획수립 및 자료 조사					
1차년도 (2023년)	에너지관리시스템 통합 HILS 설계	DC-DC컨버터 연료전지 적용 개발	분산전기추진시스템의 상태감시, 진단 등 기본설계	3kW급 전동기 주력시험	10kW급 다상전동기 개선설계	플랫폼화 모델 해석적 검토
2차년도 (2024년)	에너지관리시스템 통합 HILS 구현	DC-DC컨버터 연료전지 적용 실증시험	무인 이동체용 분산전기추진시스템 상세설계, 제어가 시작작	10kW급 전동기 주력시험	10kW급 다상전동기 개선설계 완료	플랫폼화 모델 설계
3차년도 (2025년)	에너지관리시스템 실증모델 개발	EMU (에너지관리유닛) 시작품	무인 이동체용 분산전기추진 HILS 시제작 및 성능시험	육공분리합체 공중모형 체계시험 지 원	10kW급 다상전동기 시험결과 분석 및 최 적설계	플랫폼화 모델 시험 및 결과 분 석
4차년도 (2026년)	에너지관리시스템 기술실증기 적용모델 실증시험	EMU + BMS 적용 개발	기술실증기 적용용 분산전기추진시스템의 HILS 기반 시뮬레이션 구현			
5차년도 (2027년)	보고서 작성			보고서 작성		

1

연구 내용

이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

7

연구개발 일정

부산대학교 응역으로 진행

4차년도 (2단계 1차년도)

주진내용	주진 일정												책임자 (소속기관)
EMS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	이기창 (한국전기연구원)
에너지관리시스템 DC-DC 컨버터 개발													
에너지관리시스템 HILS 설계, 검증													한종민 (한국전기연구원)
HILS/분산주진													황선환 (경남대학교화학)
다중 트라이브 변환 회로 최적화 기법 개발													이기창/한민관 (한국전기연구원)
분산전기추진시스템의 상대값시, 진단기법													이기창/설계용역 (한국전기연구원)
고출력 전기구동 장치													이기창/황선환 (전기응용실용)
3kW를 다상전동기 회로 설계, 검증													
10kW를 다상전동기 회로 설계, 검증													
3kW를 다상전동기 회로 설계, 검증													

5차년도 (2단계 2차년도)

주진내용	주진 일정												책임자 (소속기관)
EMS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	한종민 (한국전기연구원)
에너지관리시스템 HILS 구현													
에너지관리시스템 HILS 시뮬													한종민 (한국전기연구원)
HILS/분산주진													이기창/한민관 (한국전기연구원)
분산전기추진 CAN통신기법 연구													황선환 (경남대학교화학)
HILS 기반 다중회 트라이브 통합 운전 기법 개발													
고출력 전기구동 장치													이기창/설계용역 (한국전기연구원)
10kW를 다상전동기 회로 설계, 검증													
다상전동기 출력용 회로 설계, 검증													
10kW를 다상전동기 회로 설계, 검증													이기창/황선환 (전기응용실용)

6차년도 (2단계 3차년도)

주진내용	주진 일정												책임자 (소속기관)
EMS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	한종민 (한국전기연구원)
에너지관리시스템 실용화 설계													
에너지관리시스템 실용화 제작													한종민 (한국전기연구원)
HILS/분산주진													황선환 (경남대학교화학)
무인운행에 기반 다중회 트라이브 고장검출 알고리즘 개발													이기창/황선환 (전기응용실용)
HILS 기반 다중회 트라이브 고장검출 알고리즘 개발													
고출력 전기구동 장치													이기창/설계용역 (한국전기연구원)
10kW를 다상전동기 회로 설계, 검증													
다상전동기 출력용 회로 설계, 검증													
10kW를 다상전동기 회로 설계, 검증													이기창/황선환 (전기응용실용)

7차년도 (2단계 4차년도)

주진내용	주진 일정												책임자 (소속기관)
EMS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	한종민 (한국전기연구원)
에너지관리시스템 개발/제작/검증													
EMU+EMS 작업 개발													한종민 (한국전기연구원)
HILS/분산주진													이기창/황선환 (전기응용실용)
기동성능이 우수한 분산전기추진시스템의 개발													

8차년도 (제2종 5차년도)

주진내용	주진 일정												책임자 (소속기관)
EMS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	한종민 (한국전기연구원)
분산전기 보고서 작성													
고출력 전기구동 장치													이기창 (한국전기연구원)

1

연구 내용

이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

8

참여인력 현황 및 역할 분담

연구책임자 및 참여연구원 참여현황 (학생연구원 제외)

구분	자격	성명	소속기관명	소속부서명	직급(직위)	최종학위	전공
1 세 부	연구책임자	이 기 창	한국전기연구	전동력시스템 연구센터	책임연구원	박사	제어자동화 시스템
:	참여연구원	천 종 민	한국전기연구	정밀제어 연구센터	책임연구원	박사	제어및시스템
1세부 1위탁	연구책임자	황 선 환	경남대학교	전기공학과	교수	박사	전력전자
:	참여연구원	정 태 국	경남대학교	전기공학과	교수	박사	전기기기설계

참여연구원 및 기관의 역할 분담 (1차년도)

1 세 부

에너지관리시스템  
통합 HILS 설계

DC-DC컨버터  
연료전지 적용  
개발

분산전기추진시스템의  
상대값시,진단 등  
기본설계

3kW/10kW급 전동기  
추력 시험 지원

10kW급  
다상전동기  
개선편리

플랫폼화 모  
델  
해석력  
검토

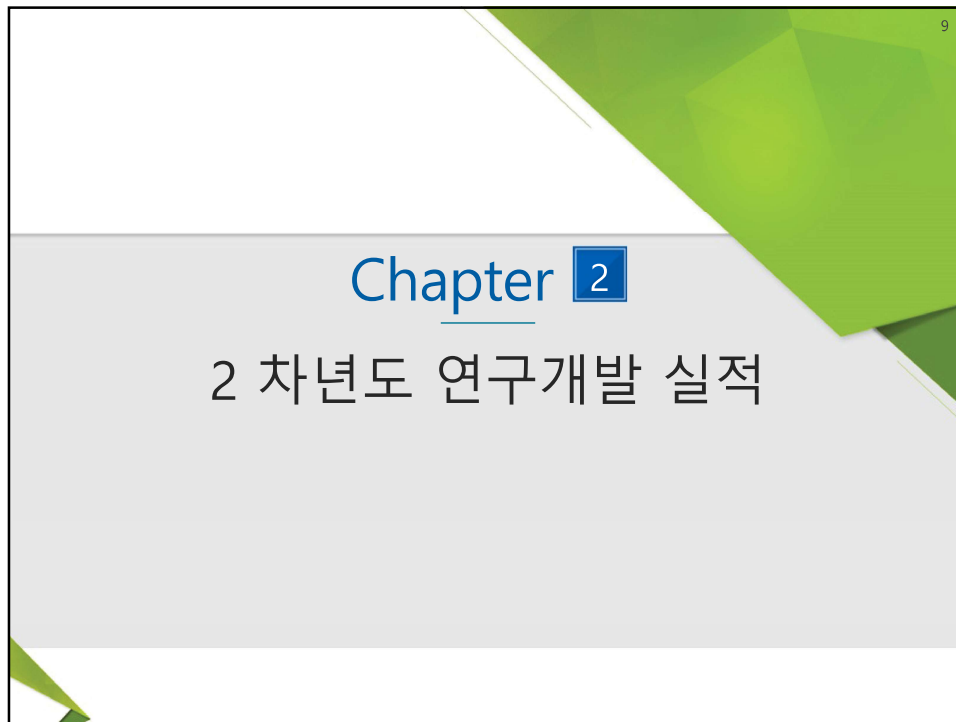
천종민  
권민관 (학생연구원)

이 기 창

경남대학교

경남대학교  
(추가 협조 요청)

< 응역 >  
부산대학교  
(이치우교수)



9

## 2

연구개발실적

이동수요 맞춤형 고출력 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

10

### 2차년도 연구개발 실적 요약

» 1세부 연구개발 목표

1. 에너지관리시스템 통합 HILS 구현 및 DC/DC 컨버터 연료전지 적용 시험
 

- ① 에너지 관리시스템 통합 HILS 설계를 위한 ( Speedgoat – FDC 연계) 실시간시뮬레이션
  - ② 하이브리드 동력시스템 적용을 위한 수소연료전지 통합 시험
2. 10kW급 다상전동기 추력 시험 및 무인이동체용 분산전기추진시스템 상세설계, 시제작
 

- ③ 10kW급 다상전동기 추력 시험 실시 (경남대학교 지원)
  - ④ 분산전기추진 구현용 DroneCAN 프로토콜 연구 및 ESC 제작
  - ⑤ 10kW급 다상전동기 개선설계 완료 및 다상전동기 플랫폼화 모델 설계 (부산대학교)

HILS : Hardware In-the-Loop Simulation

10

**2**  
연구개발실적

이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

## 추진내용 및 연구개발 결과

11

● 에너지 관리시스템 통합 HILS 설계를 위한 실시간시뮬레이션

» 에너지관리시스템 통합 HILS 설계를 위한 Speedgoat Baseline – FDC 실시간 시뮬레이션

- CAN 통신을 활용한 실시간 시뮬레이션
  - 1Mbps
  - 200ms Period (실제 동력원 통신 주기 적용)
  - 동력원 컴포넌트 CAN ID 적용
  - 동력원 CAN 프로토콜을 활용하여서 실시간 시뮬레이션 구현

CAN 통신 지령 (RUN, STP, Change mode)

Fuel cell DC/DC Converter

FDC 상태 모니터링 (입력전압, 출력전압, 전류, 온도)

» 에너지관리시스템 통합 HILS 환경 구축

<1차년도 실시간 시뮬레이션>

11

**2**  
연구개발실적

이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

## 추진내용 및 연구개발 결과

12

● 하이브리드 동력시스템 적용을 위한 수소연료전지 통합 시험(1/6)

» 수소연료전지 - Fuel Cell DC-DC Converter 통합시험

3kW급(Max5kW) FC DC-DC 컨버터 보완

- Load balancing이 되지 않는 문제점  
→ 컨버터 제어 알고리즘 변경 (전류제어기 추가)

- 5kW (Pusher 전원공급) 출력모드 일 때, 인덕터 소음 및 발열 현상  
→ 인덕터 재선점 및 방열설계, 제어기 게인 튜닝

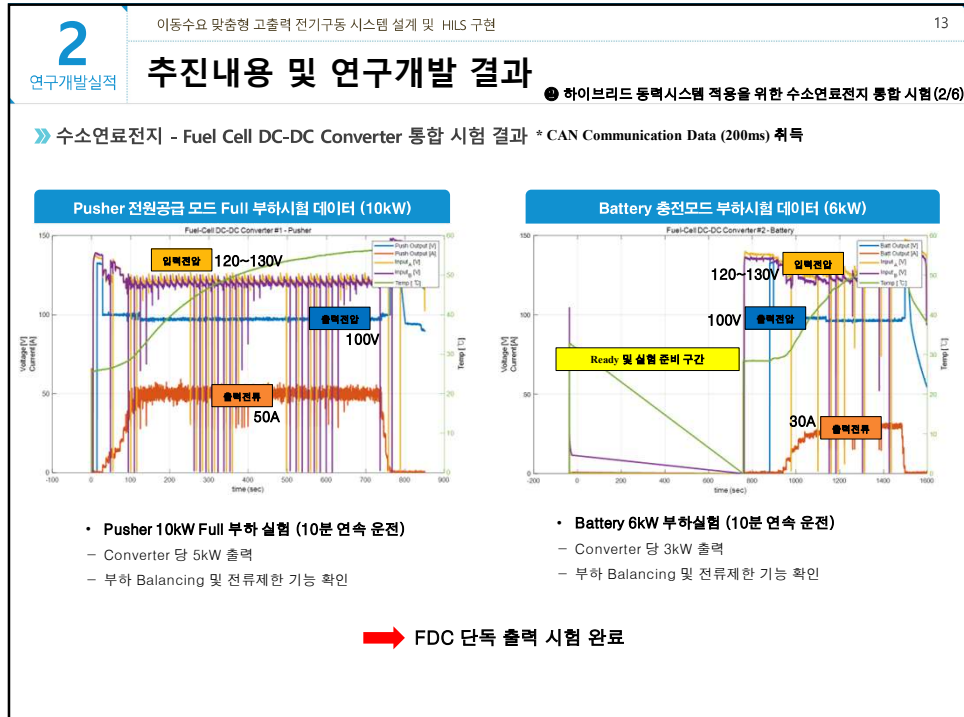
인덕터 출력전류 파형 개선

수소연료전지 - FDC 통합시험 실시

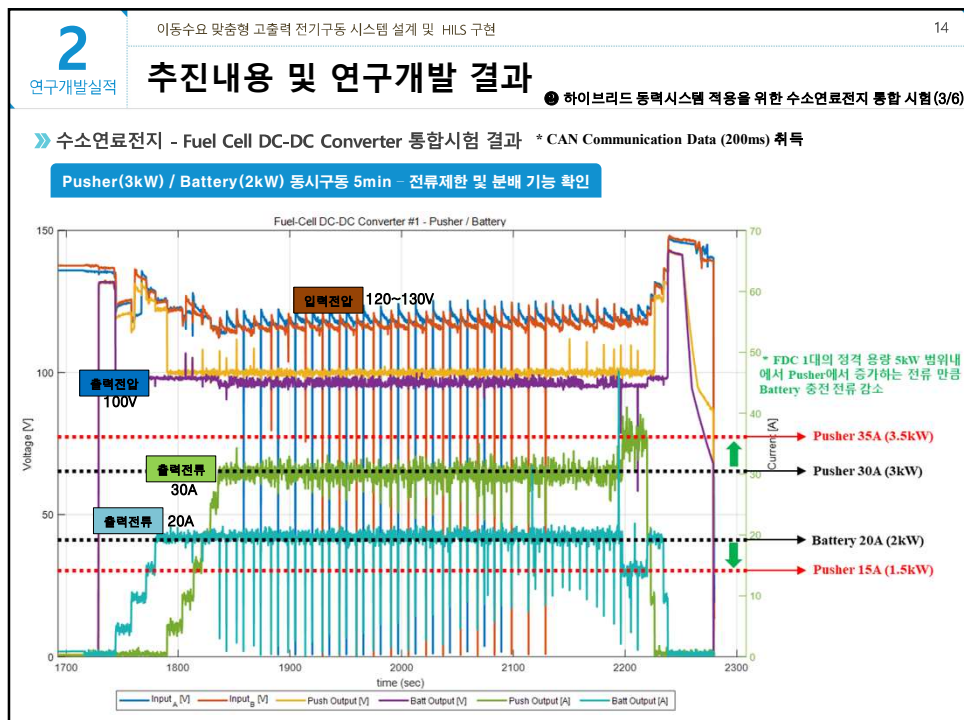
- 용인 서리 실험실
- 수소연료전지 + FDC 출력실험
  - Pusher 10kW (Converter 당 5kW)
  - Battery 6kW (Converter 당 3kW)
  - Pusher + Battery : 5kW (FDC 1대)
  - 5kW 부하 제한 확인
  - Pusher / Battery 부하 분담 확인

동력원 블록도

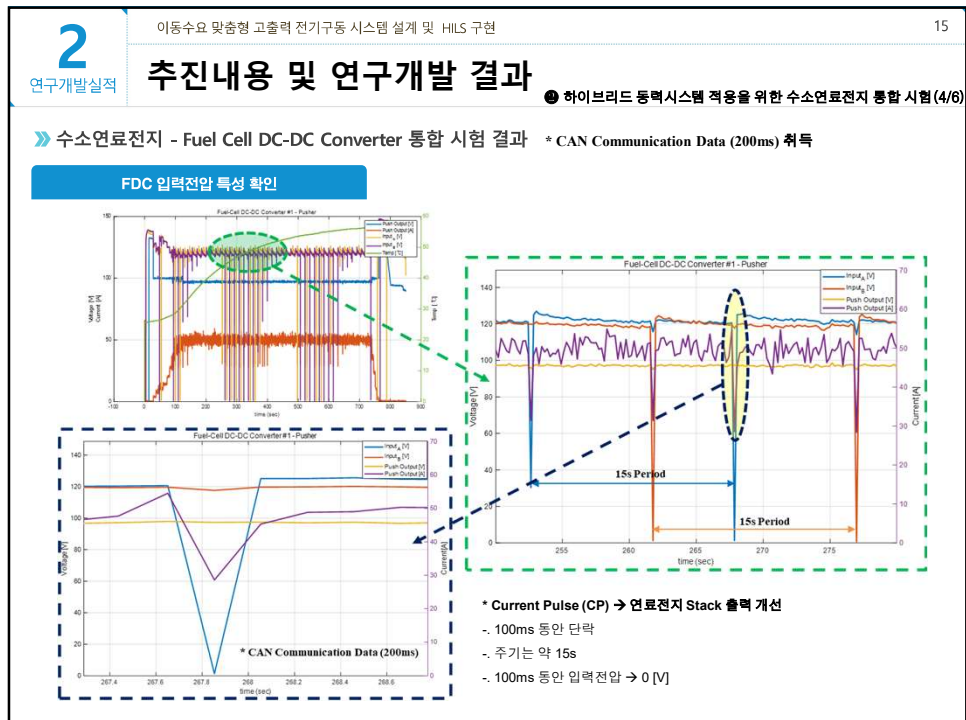
12



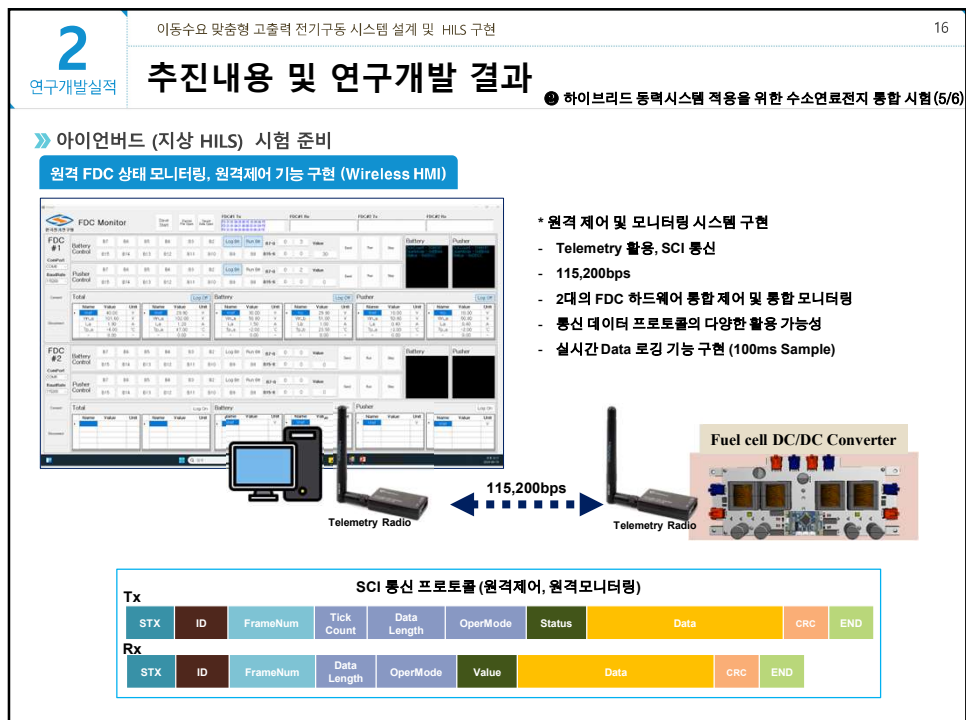
13







15



16



## 2

연구개발실적

이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

### 추진내용 및 연구개발 결과

● 하이브리드 동력시스템 적용을 위한 수소연료전지 통합 시험 (6/6)

17

» 아이언버드 (지상 HILS) 시험 준비

인덕터 발열 문제



Fuel Cell DC-DC Converter

인덕터와 PCB 결선 부



인덕터 발열 보완



변경인덕터

FDC 개선 설계



**\* 발열 point**

- 5kW 풀부하 실험시 인덕터 온도 100도 이상 상승
- 인덕터와 결선되는 지점에서의 온도 약 100도
- 연속운전 (10분)
- 스위칭 및 다이오드 소자 온도 60~70도

- 인덕터를 세워서 내부에 공기의 흐름이 있도록 결선 구조 변경
- 인덕터 코일의 권선직경을 늘려 저항 감소

17

## 2

연구개발실적

이동수요 맞춤형 고효율 전기구동 시스템 설계 및 HILS 구현

### 추진내용 및 연구개발 결과

● 10kW급 다상전동기 추력 시험 실시

18

» 10kW Pusher 전동기 4엽 프롭 장착 풍동시험

10kW Pusher 전동기 풍동 시험 Setup



계측장비 Setup





- 다상 ESC의 온도 상승으로 10kW 연속 운전 불가  
→ 2세부에 방열구조 개선 요구 후, 제 제작중임.

18

## 2

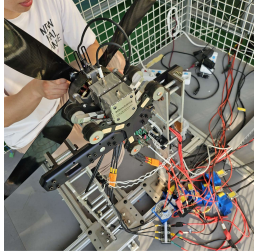
연구개발실적

## 추진내용 및 연구개발 결과

19

④ 10kW급 다상전동기 추력 시험 실시

## » 4엽 프롭 변경에 따른 3kW급 Lift 전동기의 프롭다이아모 시험



4엽 프로펠러(KARI 제작) 장착



3kW Lift 전동기 프롭다이아모 시험

3kW Lift 전동기 4엽 프로펠러 다이아모 시험 영상



## \* 3kW Lift 전동기 4엽 프로펠러 장착 후 프롭다이아모 시험 진행

- 전자변속기의 전압이용률 초과로 최대 출력 실험 불가  
(96VDC 배터리 전압 상정하여 실험한 결과임.  
배터리전압을 키우든지, 권선 턴수를 줄일 필요 있음.)
- 3kW Lift 전동기 개선 설계에 반영함. (Backemf 상수 줄일 것)

19

## 2

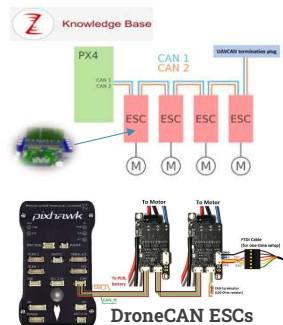
연구개발실적

## 추진내용 및 연구개발 결과

20

④ 분산전기추진 구현용 DroneCAN 프로토콜 연구 및 ESC 제작(1/2)

## » DroneCAN 기반 제어 네트워크 구현



: DroneCAN 지원 ESC 개발 중 (KERI 별도 과제)



DroneCAN 기반 ESC 개발(TI사의 F280039사용)

- CAN통신을 통한 비행제어기의 제어명령(RCPWM)을 받을 수 있다.
- 개별 ESC의 전압, 전류, 온도, 회전RPM등을 실시간 Feedback가능하다

<https://kb.zubax.com/display/MAINKB/Using+Telega-based+controllers+with+PX4+autopilots>

20

## 2

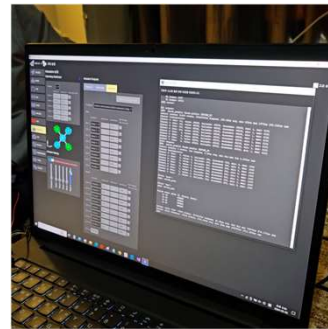
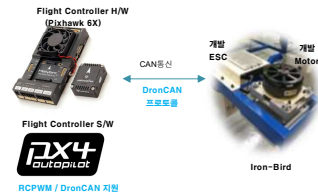
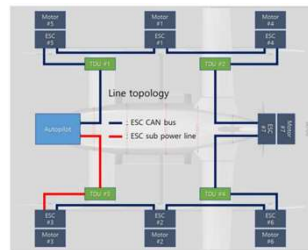
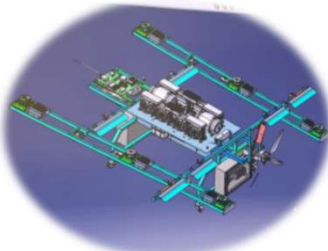
연구개발실적

## 추진내용 및 연구개발 결과

21

④ 분산전기추진 구현용 DroneCAN 프로토콜 연구 및 ESC 제작(2/2)

» 2세부에서 육공복합무인이동체용 DroneCAN 제어 통신 구현함.



21

## 2

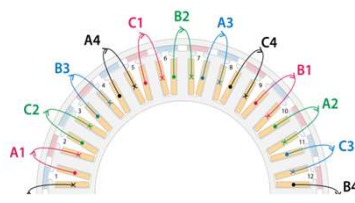
연구개발실적

## 추진내용 및 연구개발 결과

22

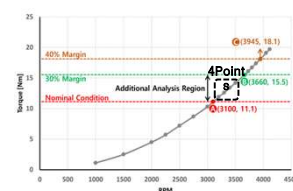
⑤ 10kW급 다상전동기 개선설계 및 다상전동기 플랫폼화 모델 설계

» 10kW 다상전동기 개선설계 및 다상전동기 플랫폼화 모델 설계 : 부산대에 용역으로 진행 중



» 3kW급 Lift 다상전동기의 4kW급 고출력화 설계 (추가연구) : 부산대에 용역으로 진행 중

Lift 전기구동장치의 요구도 변경됨 (저속, 고출력)이 요구됨.



▲ 추가 해석 범위 (운전지점)

22

2

연구개발실적

23

## 추진내용 및 연구개발 결과

④ 분산전기추진 구현용 DroneCAN 프로토콜 연구 및 ESC 제작(2/2)

### ▶ 1세부 (한국전기연구원) 2024년도 성과 요약

#### ▶ 논문 성과

구분	학회명	논문명	일시
국내 학술대회 (경주)	2024년도 항공우주시스템공학회 춘계 학술대회	무인기용 하이브리드 동력시스템을 위한 5kW급 연료전지 DC-DC 컨버터의 설계 및 제어	2024년 5월
국제 학술대회 (중국)	2024 International Power Electronics and Motion Control Conference	Design & Control of DC-DC Converter for Fuel-Cell Hybrid Power System of the UAV	2024년 5월

#### ▶ 전시회 참가

전시명	내용	일시
2024 무인이동체 산업엑스포 (서울 코엑스)	1. Speedgoat - FDC 연계 실시간시뮬레이터 구축 전시 2. 3kW Lift Motor - ESC, 10kW Pusher Motor - ESC 전시	2024년 7월

23

2 연구개발실적	향후 계획	24
» ComVe의 IronBird 시험 지원		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- FDC의 적용 시험</li> <li>- ESC/모터의 적용 시험</li> <li>- 10월 2주 예정</li> <li>- 태안 한서대학교</li> </ul>		
		
<2023년 시험 예>		
» ComVe의 안전줄 비행시험 지원		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ESC/모터의 적용 시험</li> <li>- 10월 2주 예정</li> <li>- 전남 고흥</li> </ul>		
		
<고흥 안전줄 시험장 사진>		

24



