

첨단융합기술개발사업
공통원천기술 개발 또는 통합운용 기술실증기 개발
이동수요 맞춤형 고출력 전기구동장치 개발
3세부

이동수요맞춤형 고출력 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

(주)효원파워텍

2023. 11. 15

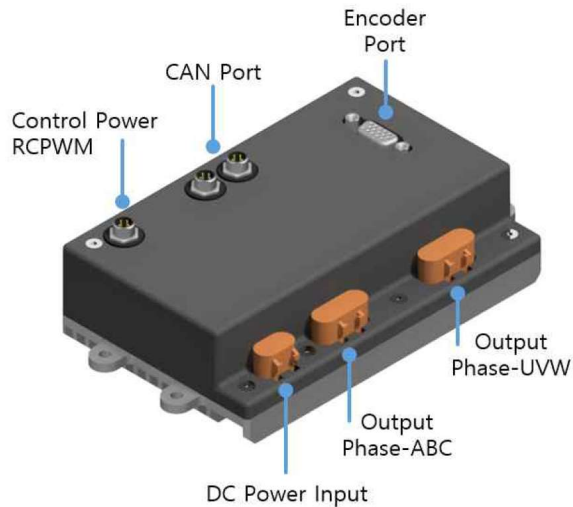


Chapter 1

연구개발 현황

연구개발 진행사항

» 3.5kW Lift ESC

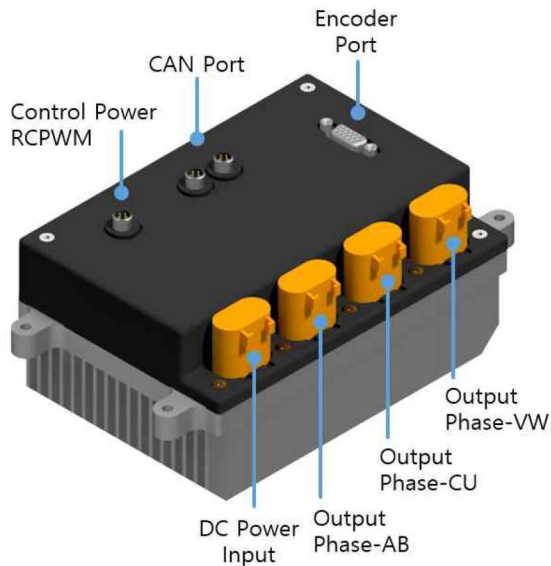


- Output Power : 3.5 [kW]
- DC Input Voltage : 100 [V]
- Dimension 162 x 94 x 49 [mm]
- Weight : 560 [g]



[3.5kW Lift ESC]

» 12kW Pusher ESC



- Output Power : 12 [kW]
- DC Input Voltage : 100 [V]
- Dimension 164 x 114 x 82 [mm]
- Weight : 1670 [g]



[12kW Pusher ESC]

연구개발 목표

» 연구개발 목표

- 3.5kW 및 12kW급 다중화 드라이브 및 플랫폼화 제어기 개발

» 세부 목표

- 고출력 다상전동기 구동용 ESC 개발
- 고출력 다상전동기의 다중화 제어기술 플랫폼화 개발
- 다중화 드라이브 통신 체계 개발

» 연차별 목표

연차(연도)		내 용
1단계	1차년도(2020)	• 3.5kW급 다상전동기 구동 시스템, 제어기의 모델링 시뮬레이션 및 드라이브 제어기 설계
	2차년도(2021)	• 다중화 개념을 고려한 고전력밀도 드라이브 전력회로, 드라이브 제어기 제작 및 개별 시험
	3차년도(2022)	• 3.5kW ESC와 다상전동기 통합 출력성능 평가시험
2단계	1차년도(2023)	• 3.5kW ESC 신뢰성 시험 • 12kW ESC 시험평가 • 다중화 드라이브 플랫폼 통신 인터페이스 개발 및 시험
	2차년도(2024)	• 12kW ESC 신뢰성 시험 • 다중화 드라이브 플랫폼 구현
	3차년도(2025)	• 다중화 드라이브 플랫폼 구현 및 평가
	4차년도(2026)	• 완성시제의 통합 성능 실증 평가
	5차년도(2027)	• 체계시험 실증 평가 지원 및 보고서 작성

평가항목별 목표

정성적 평가 항목

시험조건	가중치	연차	연차별 목표 (조건/환경)
· 고출력 다상 전동기 구동용 ESC 개발	40%	1차년도 (2023)	<ul style="list-style-type: none"> · 3.5kW ESC 신뢰성 평가 - 진동 : MIL-STD-810G 514.6 - 충격 : MIL-STD-810G 516.6 - 방수방진 : IEC60529, IP33 - 고온 저장/운전 : MIL-STD-810G 501.5 - 저온 저장/운전 : MIL-STD-810G 502.5 · 다중화 드라이브 플랫폼 구현 및 평가 · 12kW급 ESC 시험평가 · 다중화 드라이브 플랫폼 통신 인터페이스 개발 및 시험
		2차년도 (2024)	<ul style="list-style-type: none"> · 12kW급 ESC 신뢰성 시험평가 - 진동 : MIL-STD-810G 514.6 - 충격 : MIL-STD-810G 516.6 - 방수방진 : IEC60529, IP33 - 고온 저장/운전 : MIL-STD-810G 501.5 - 저온 저장/운전 : MIL-STD-810G 502.5 · 다중화 드라이브 플랫폼 구현 및 평가
		3차년도 (2025)	· 다중화 드라이브 시스템의 통합 성능 평가
		4차년도 (2026)	· 완성시제의 통합 성능 실증 평가
		5차년도 (2027)	· 체계시험 실증 평가 지원 및 보고서 작성
· 다중화 드라이브의 플랫폼의 통신 체계 구현	20%	1차년도 (2023)	· 마스터 제어기(FC)와 다중화 드라이브 1대의 통신 체계 구현
		2차년도 (2024)	· 마스터 제어기(FC)와 다중화 드라이브 7대의 통신 체계 구현 및 고장 허용 제어 구현
		3차년도 (2025)	· 마스터 제어기(FC)와 다중화 드라이브 7대 그리고 PMU(Power Management Unit)과 통신 체계 구현

연구개발 진행사항

» 3.5kW ESC 신뢰성 평가

- 진동 : MIL-STD-810G 514.6
- 충격 : MIL-STD-810G 516.6
- 방수방진 : IEC60529, IP33
- 고온 저장/운전 : MIL-STD-810G 501.5
- 저온 저장/운전 : MIL-STD-810G 502.5

» 3.5kW ESC 환경 시험 일정

시험 항목	11월			
	20(월)	21(화)	22(수)	23(목)
진동 시험				
충격 시험				
고온/저온 시험				
방진/방수 시험				

- 11/20(월) : 진동/충격 시험, 팜테크(창원)
- 11/20(월) ~ 11/21(화) : 고온 저온 시험, 팜테크(창원)
- 11/23(목) : 방수/방진 시험, 한국기자재연구원

» 진동 시험 조건

- 시험 샘플 : 1ea
- 시험 시간 : X, Y, Z 축당 1시간
- Grms : 4.456(random)
- 결과 : 육안검사

진동방향		X Axis	Y Axis	Z Axis
Grms		4.456		
Floor Level	BW(Hz)	15 ~ 2 000		
	ASD Level(g ² /Hz)	0.010 00		
Narrow Band 1 [f ₀]	Center Frequency(Hz)	46.7		
	ASD Level(g ² /Hz)	0.300 00		
	Sweep Bw(%)	-5.0		+5.0
Narrow Band 2 [f ₁]	Center Frequency(Hz)	93.3		
	ASD Level(g ² /Hz)	0.075 36		
	Sweep Bw(%)	-5.0		+5.0

[시험 세부 조건]

연구개발 진행사항

» 3.5kW ESC 신뢰성 평가

- 진동 : MIL-STD-810G 514.6
- 충격 : MIL-STD-810G 516.6
- 방수방진 : IEC60529, IP33
- 고온 저장/운전 : MIL-STD-810G 501.5
- 저온 저장/운전 : MIL-STD-810G 502.5

» 3.5kW ESC 환경 시험 일정

시험 항목	11월			
	20(월)	21(화)	22(수)	23(목)
진동 시험				
충격 시험				
고온/저온 시험				
방진/방수 시험				

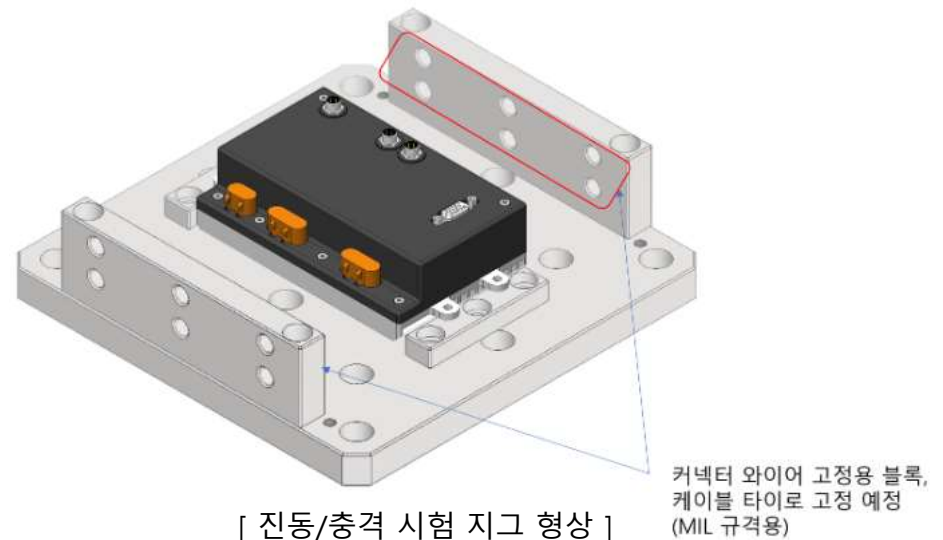
- 11/20(월) : 진동/충격 시험, 팜테크(창원)
- 11/20(월) ~ 11/21(화) : 고온 저온 시험, 팜테크(창원)
- 11/23(목) : 방수/방진 시험, 한국기자재연구원

» 충격 시험 조건

- 시험 샘플 : 1ea
- 시험 시간 : X, Y, Z 축당(+, -) 3회 반복
- 가속도 : 20g
- 결과 : 육안검사

충격방향		피크 가속도 (g)	정규지속시간 (ms)	파형	반복횟수 (회)
X Axis	+	20	11	톱니파	3
Y Axis					3
Z Axis	-				

[시험 세부 조건]



연구개발 진행사항

» 3.5kW ESC 신뢰성 평가

- 진동 : MIL-STD-810G 514.6
- 충격 : MIL-STD-810G 516.6
- 방수방진 : IEC60529, IP33
- 고온 저장/운전 : MIL-STD-810G 501.5
- 저온 저장/운전 : MIL-STD-810G 502.5

» 3.5kW ESC 환경 시험 일정

시험 항목	11월			
	20(월)	21(화)	22(수)	23(목)
진동 시험				
충격 시험				
고온/저온 시험				
방진/방수 시험				

- 11/20(월) : 진동/충격 시험, 팜테크(창원)
- 11/20(월) ~ 11/21(화) : 고온 저온 시험, 팜테크(창원)
- 11/23(목) : 방수/방진 시험, 한국기자재연구원

» 고온/저온 운전 시험

- 저온 : -20°C, 3h / 고온 : 50°C, 3h
- 시험 샘플 : 1ea
- 결과 확인 : a. 초기 가동 1회,
b. 1시간 30분 후 가동 1회,
c. 3시간 후 가동 1회 후 정상 동작
d. 모터 동작시간 : row rpm(100~200), 10s

» 방수/방진

- 시험 샘플 : 1ea
- IP33 등급 시험

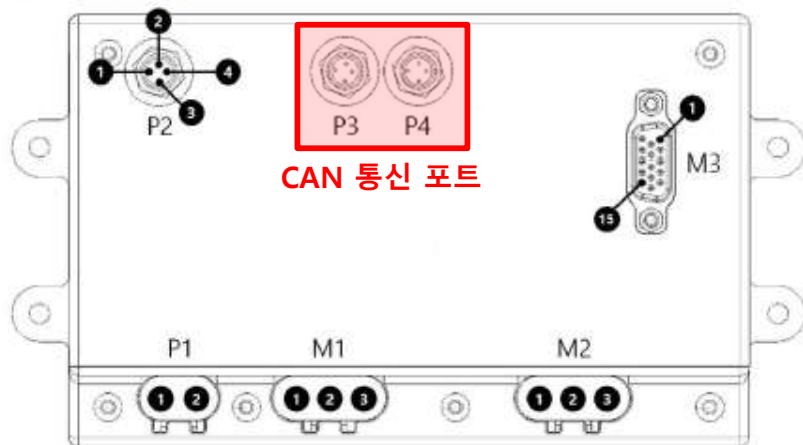


[실물 사진]

연구개발 진행사항

ESC 통신 인터페이스 개발 및 시험

Connector Pin Map



[3.5kW ESC 핀 맵]

Specification

Port	Pin	Parameter	Value	Unit	P/N
------	-----	-----------	-------	------	-----

Main Controller

P2	1	Input Voltage	12	V	MB08MBAFF04ST (Creken)
	2	GND	-	-	
	3	RCPWM	5	V	
	4	GND	-	-	
P3	1	Input Voltage	12	V	
	2	CANH	-	-	
	3	CANL	-	-	
	4	GND	-	-	
P4	1	Input Voltage	12	V	
	2	CANH	-	-	
	3	CANL	-	-	
	4	GND	-	-	

Port	Pin	Parameter	Value	Unit	P/N
------	-----	-----------	-------	------	-----

Inverter Power Input

P1	1	DCP	100	V	LCB-30M (Amass)
	2	DCN	0	V	

Inverter Power Output

M1	1	Phase A	0	deg	LCC-30M (Amass)
	2	Phase B	120	deg	
	3	Phase C	-120	deg	
M2	1	Phase U	30	deg	LCC-30M (Amass)
	2	Phase V	150	deg	
	3	Phase W	-90	deg	

Encoder & Temperature Sensor

M3	1	GND			L77HDEH15SOL2RM8 (Amphenol)
	2	GND			
	3	Z-			
	4	Z			
	5	A-			
	6	A			
	7	+5V	5	V	
	8	+5V	5	V	
	9	B-			
	10	B+			
	11	Not used			
	12	T1+	External NTC supported (Res in Ohms @ 25°C 10k)		
	13	T1-			
	14	T2+			
	15	T2-			

연구개발 진행사항

ESC 통신 인터페이스 개발 및 시험

CAN 통신 프로토콜

Extended Frame ID (29-bit)																													
Field name	Priority 5-bit					Source 8-bit								Destination 8-bit								Object 8-bit							
CAN ID bit	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Value	0x00					0x03 (ESC1)								0x00 (MASTER)								0x02 (Get Status)							
CAN ID byte	3					2								1								0							

ID Assignment		
Address	Name	Description
0x00	MASTER	Source
0x01	ESC1	Destination
0x02	ESC2	Destination
0x03	ESC3	Destination
0x04	ESC4	Destination
0x05	ESC5	Destination
0x06	ESC6	Destination
0x07	ESC7	Destination

Object		Data		
Address	Name	Byte	Bit	Description
0x00	Set Command	0	0-1	Transmission 00: - 01: Get Command & Status 10: - 11: -
			2-3	Inverter output 00: - 01: Inverter output on 10: Inverter output off 11: -
			4-6	Control Mode 000: - 001: Motor run (RPM 제어) 010: Motor align 011: Motor stop 100: Motor throttle (전류 제어)
			7	Fault Clear 0: - 1: Fault Clear
			1 (int8)	Throttle -100 ~ 100: Set throttle +:CCW, -:CW
			2-3 (int16)	RPM -3300 ~ 3300: Set RPM -100 = 0xFFFF FF9C

CAN 통신 제어 프로그램

ESC CAN Controller V1.2

파일(F) 보기(V) 도움말(H)

ESC 1

GET COMMAND

GET STATUS

RECEIVE ID: 0

RECEIVE COUNT: 0

CONTROLLER

Control Mode: THROTTLE SPEED ALIGN

Throttle [iqe]: 5

Limit [iqe max]: -

SET COMMAND

Inverter Output: RUN STOP

Fault Register

FAULT RESET

STATUS

DC Voltage [V]: 0

Current [A]: 0

Speed [RPM]: 0

ESC Temp [°C]: 0

Motor Temp [°C]: 0

Modulation Index: 0

ESC 2

GET COMMAND

GET STATUS

RECEIVE ID: 0

RECEIVE COUNT: 0

CONTROLLER

Control Mode: THROTTLE SPEED ALIGN

Throttle [iqe]: 5

Limit [iqe max]: -

SET COMMAND

Inverter Output: RUN STOP

Fault Register

FAULT RESET

STATUS

DC Voltage [V]: 0

Current [A]: 0

Speed [RPM]: 0

ESC Temp [°C]: 0

Motor Temp [°C]: 0

Modulation Index: 0

ESC 3

GET COMMAND

GET STATUS

RECEIVE ID: 0

RECEIVE COUNT: 0

CONTROLLER

Control Mode: THROTTLE SPEED ALIGN

Throttle [iqe]: 5

Limit [iqe max]: -

SET COMMAND

Inverter Output: RUN STOP

Fault Register

FAULT RESET

STATUS

DC Voltage [V]: 0

Current [A]: 0

Speed [RPM]: 0

ESC Temp [°C]: 0

Motor Temp [°C]: 0

Modulation Index: 0

ESC 4

GET COMMAND

GET STATUS

RECEIVE ID: 0

RECEIVE COUNT: 0

CONTROLLER

Control Mode: THROTTLE SPEED ALIGN

Throttle [iqe]: 5

Limit [iqe max]: -

SET COMMAND

Inverter Output: RUN STOP

Fault Register

FAULT RESET

STATUS

DC Voltage [V]: 0

Current [A]: 0

Speed [RPM]: 0

ESC Temp [°C]: 0

Motor Temp [°C]: 0

Modulation Index: 0

ESC 5

GET COMMAND

GET STATUS

RECEIVE ID: 0

RECEIVE COUNT: 0

CONTROLLER

Control Mode: THROTTLE SPEED ALIGN

Throttle [iqe]: 5

Limit [iqe max]: -

SET COMMAND

Inverter Output: RUN STOP

Fault Register

FAULT RESET

STATUS

DC Voltage [V]: 0

Current [A]: 0

Speed [RPM]: 0

ESC Temp [°C]: 0

Motor Temp [°C]: 0

Modulation Index: 0

ESC 6

GET COMMAND

GET STATUS

RECEIVE ID: 0

RECEIVE COUNT: 0

CONTROLLER

Control Mode: THROTTLE SPEED ALIGN

Throttle [iqe]: 5

Limit [iqe max]: -

SET COMMAND

Inverter Output: RUN STOP

Fault Register

FAULT RESET

STATUS

DC Voltage [V]: 0

Current [A]: 0

Speed [RPM]: 0

ESC Temp [°C]: 0

Motor Temp [°C]: 0

Modulation Index: 0

ESC 7 (Pusher)

GET COMMAND

GET STATUS

RECEIVE ID: 0

RECEIVE COUNT: 0

CONTROLLER

Control Mode: THROTTLE SPEED ALIGN

Throttle [iqe]: 5

Limit [iqe max]: -

SET COMMAND

Inverter Output: RUN STOP

Fault Register

FAULT RESET

STATUS

DC Voltage [V]: 0

Current [A]: 0

Speed [RPM]: 0

ESC Temp [°C]: 0

Motor Temp [°C]: 0

Modulation Index: 0

대기

Hyowon PowerTech

- 제어 지령 : 속도 제어, 스로틀(전류) 제어, 위치 정렬

- ESC 측정 데이터 : DC입력전압, 상전류, 모터속도, ESC/모터 온도

연구개발 진행사항

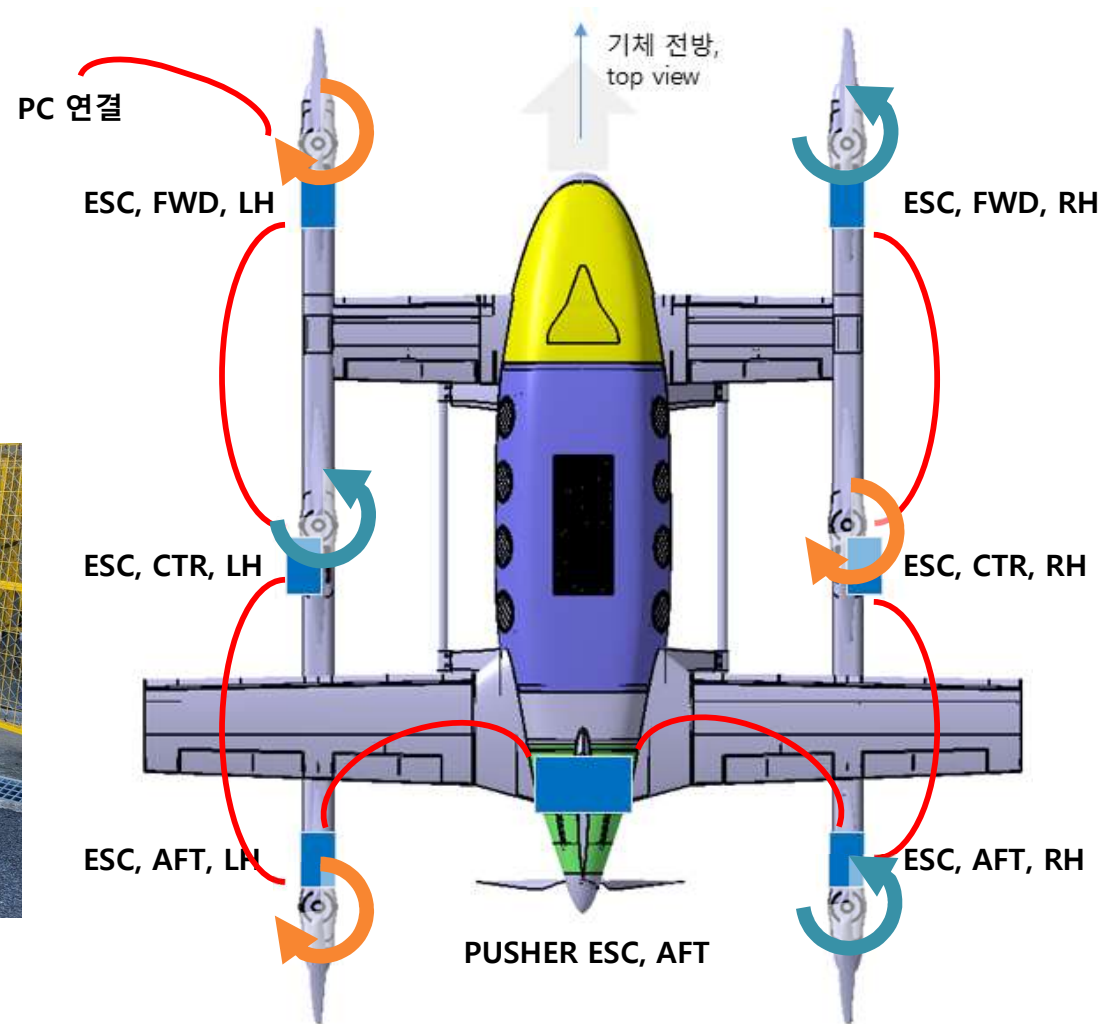
ESC 통신 인터페이스 개발 및 시험

■ CAN 통신 제어 시험

- (1) 3.5kW ESC 단품 단위 시험, 3100 rpm, 1 min
- (2) 3.5kW ESC 단품 단위 시험, 2900 rpm, 5 min
- (3) 3.5kW ESC 3개 동시 시험, 2600 rpm, 5 min
- (4) 12kW Pusher ESC 시험, 2180 rpm (4열 프롭)
- (5) 12kW Pusher ESC 시험, 2500 rpm (2열 프롭)



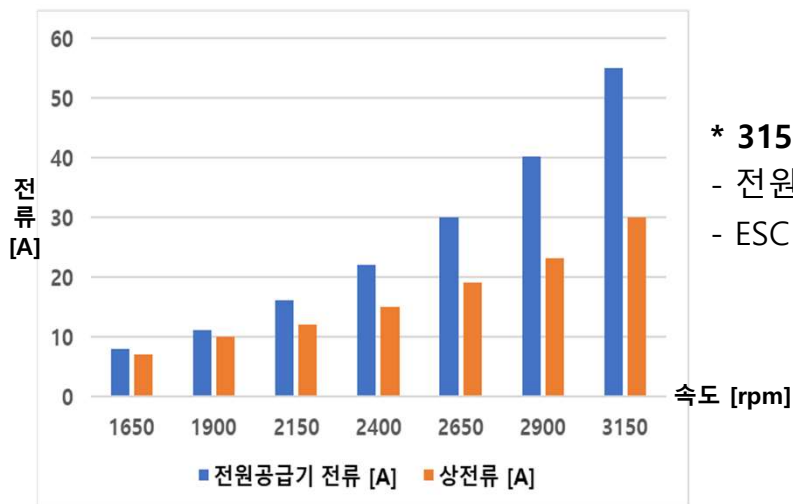
[아이언버드 프롭시험 (한서대학교 태안캠퍼스)]



연구개발 진행사항

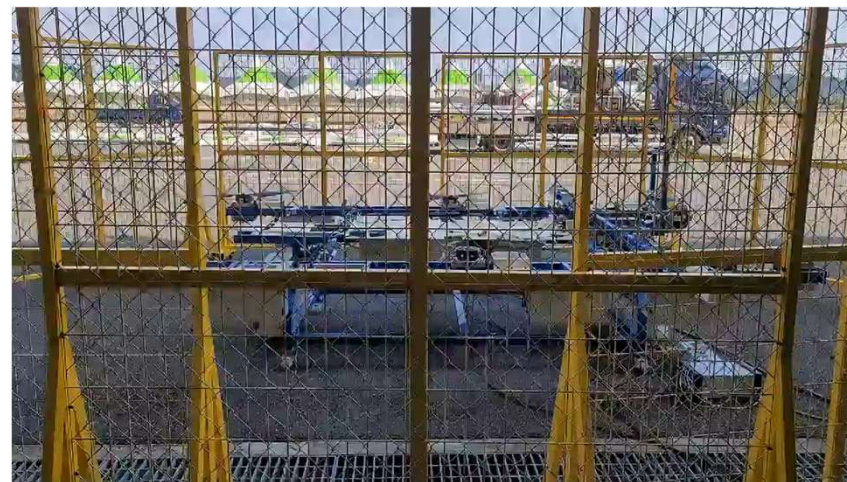
ESC 통신 인터페이스 개발 및 시험

3.5kW ESC 시험 결과



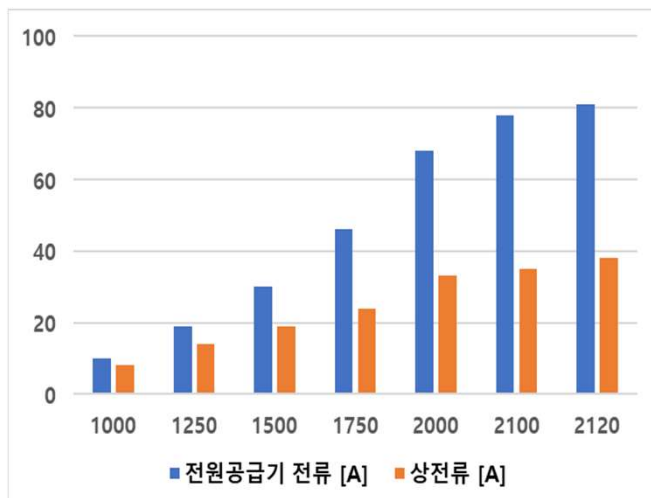
* 3150 RPM

- 전원공급기 입력 : 100V, 55A
- ESC 상 출력 전류 : 30A



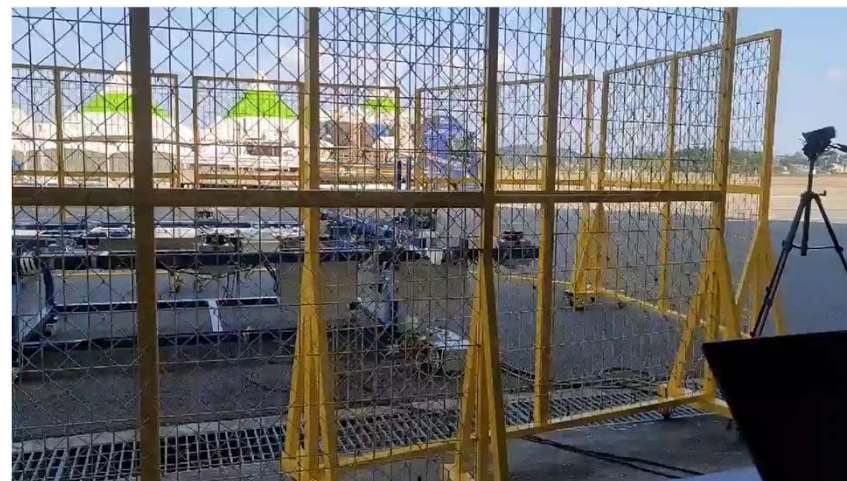
[3.5kW ESC 3개 동시 구동]

12kW ESC 시험 결과



* 2120 RPM (4열)

- 전원공급기 입력 : 100V, 85A
- ESC 상 출력 전류 : 43A

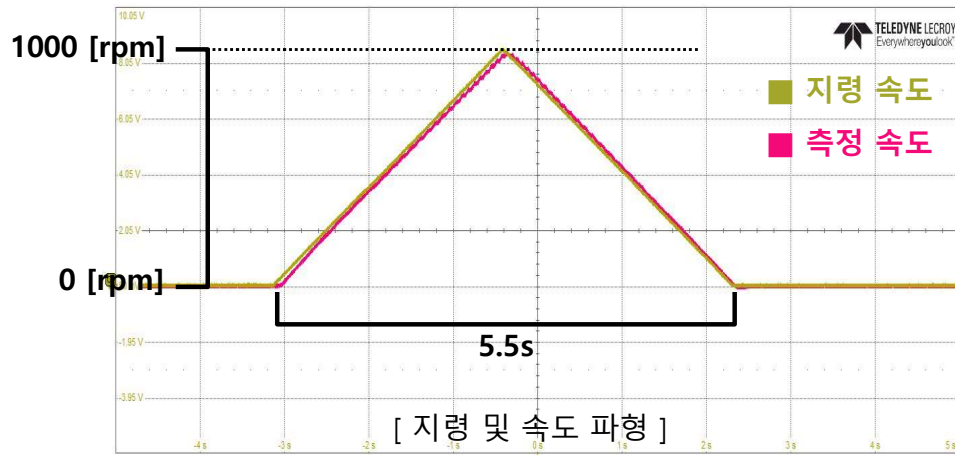


[12kW ESC 구동]

연구개발 진행사항

» 통신 응답 속도 시험

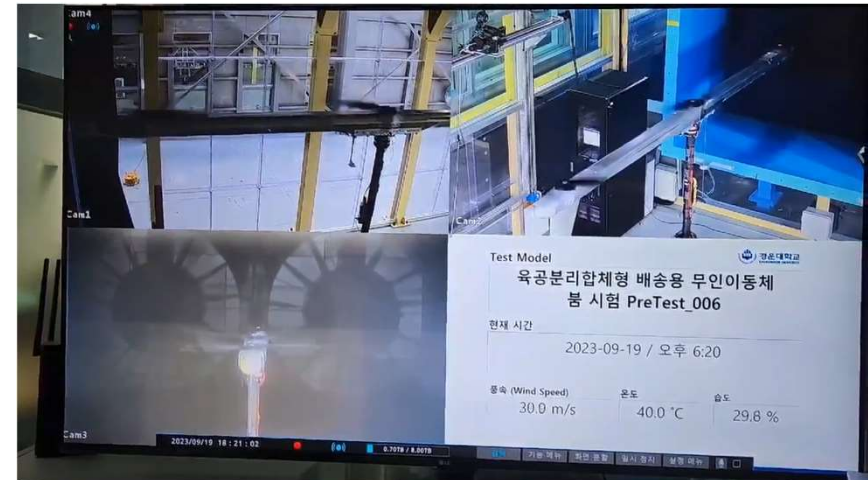
- CAN 통신 송신 주파수 : 400Hz
- 지령 속도 : 0 ↔ 1000rpm
 - 2.5ms마다 1000rpm까지 1rpm씩 증가 후 감소



[통신 시험 영상]

» 위치 정렬 시험

- 3.5kW ESC 프롭 위치 정렬
- 풍속 30.0 m/s 조건
- 정렬 후 DC 파워서플라이 출력 : 100V, 0.4A (40W)



[경운대학교 시험 영상]

Chapter 2

연구개발 계획

평가항목별 목표

정성적 평가 항목

시험조건	가중치	연차	연차별 목표 (조건/환경)
· 고효율 다상 전동기 구동용 ESC 개발	40%	1차년도 (2023)	<ul style="list-style-type: none"> · 3.5kW ESC 신뢰성 평가 - 진동 : MIL-STD-810G 514.6 - 충격 : MIL-STD-810G 516.6 - 방수방진 : IEC60529, IP33 - 고온 저장/운전 : MIL-STD-810G 501.5 - 저온 저장/운전 : MIL-STD-810G 502.5 · 다중화 드라이브 플랫폼 구현 및 평가 · 12kW급 ESC 시험평가 · 다중화 드라이브 플랫폼 통신 인터페이스 개발 및 시험
		2차년도 (2024)	<ul style="list-style-type: none"> · 12kW급 ESC 신뢰성 시험평가 - 진동 : MIL-STD-810G 514.6 - 충격 : MIL-STD-810G 516.6 - 방수방진 : IEC60529, IP33 - 고온 저장/운전 : MIL-STD-810G 501.5 - 저온 저장/운전 : MIL-STD-810G 502.5 · 다중화 드라이브 플랫폼 구현 및 평가
		3차년도 (2025)	· 다중화 드라이브 시스템의 통합 성능 평가
		4차년도 (2026)	· 완성시제의 통합 성능 실증 평가
		5차년도 (2027)	· 체계시험 실증 평가 지원 및 보고서 작성
· 다중화 드라이브의 플랫폼의 통신 체계 구현	20%	1차년도 (2023)	· 마스터 제어기(FC)와 다중화 드라이브 1대의 통신 체계 구현
		2차년도 (2024)	· 마스터 제어기(FC)와 다중화 드라이브 7대의 통신 체계 구현 및 고장 허용 제어 구현
		3차년도 (2025)	· 마스터 제어기(FC)와 다중화 드라이브 7대 그리고 PMU(Power Management Unit)과 통신 체계 구현

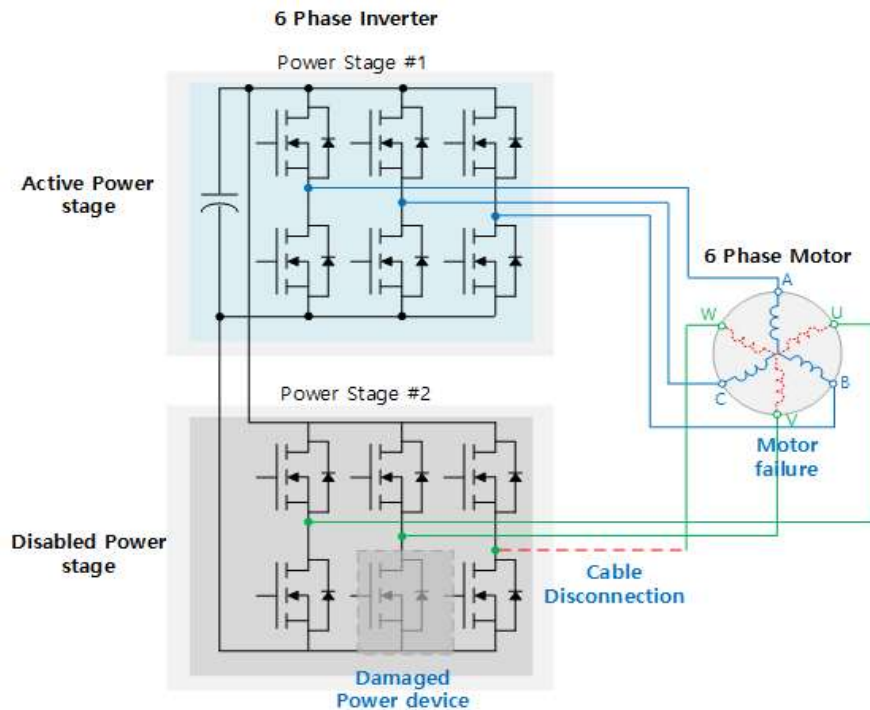
연구개발 계획

» 다중화 드라이브의 플랫폼의 통신 체계 구현

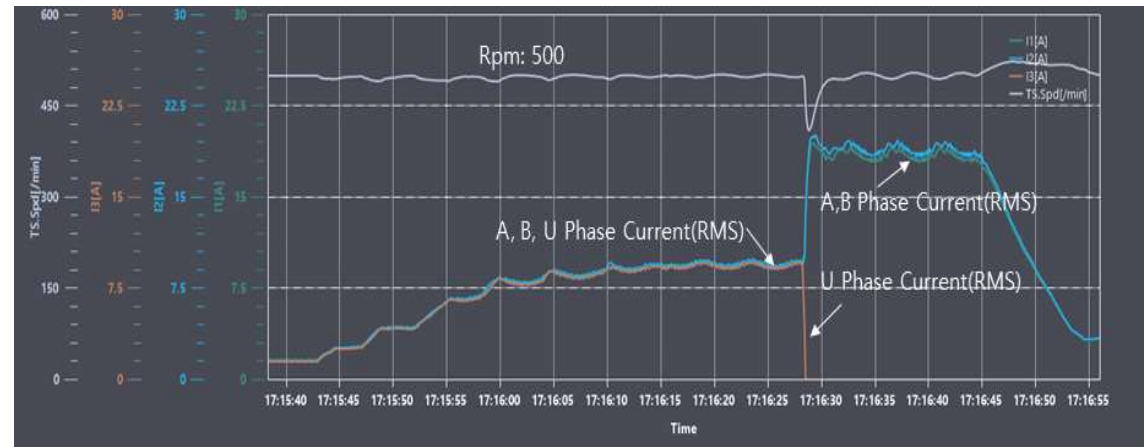
- 마스터 제어기(FC)와 다중화 드라이브 7대의 통신 체계 구현. (**DroneCAN** 프로토콜 적용)
- 고장 허용 운전 제어 구현
 - 다상 전동기는 임의의 상이 고장 시에도 연속적인 운전이 가능.



DroneCAN



[6상 모터 제어시스템 회로 구성]



- 고장 운전 시험 조건

- 6상 운전 중 U, V, W상 스위치 소자 개방고장 가정, 3상 운전 모드 전환
- ESC 속도 지령: 500 [rpm]
- 다이نام모 부하: 3 [Nm]

- 결과

- 6상 운전 모드 a상 전류: 9.33[Ams], b상 전류: 9.47[Ams], c상 전류: 9.28[Ams]
- 3상 운전 모드 전환 후 a상 전류: 18.28[Ams], b상 전류: 18.82[Ams], u상 전류: 0[Ams]

지금까지 경청해 주셔서
감사합니다

