

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

이동수요맞춤형 고출력 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

(주)효원파워텍

2024. 9. 27



1

발표순서

- 1.연구개발 목표
- 2.연구개발 현황
- 3.연구개발 계획



2

1

연구개발 목표

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

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

3/

1

연구개발 목표

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

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)	· 완성시제품의 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

4/

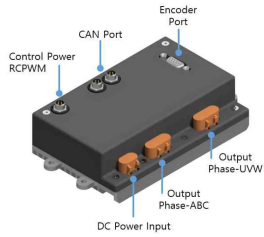
2

연구개발 현황

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

연구개발 진행사항

» 3.5kW Lift ESC

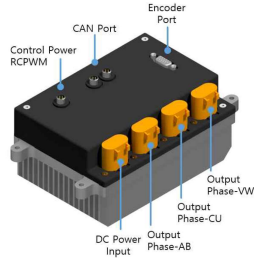


- Output Power : 3.5 [kW]
- DC Input Voltage : 100 [V]
- Dimension 162 x 94 x 49 [mm]
- Weight : 560 [g]

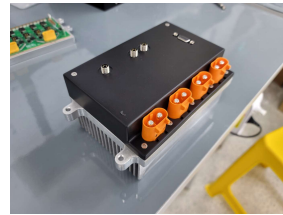


[3.5kW Lift ESC]

» 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]

5/

5

2

연구개발 현황

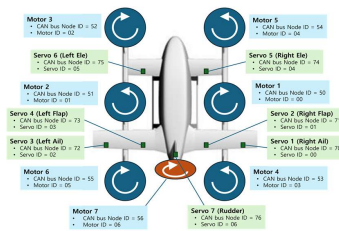
이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

연구개발 진행사항

» ESC DroneCAN 통신

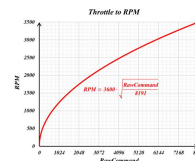
■ ESC Node ID 할당 및 모터 회전방향 설정

ESC 위치	ESC Node ID	모터 위치	모터 회전방향
ESC.CTR.RH	50	Motor 1	CW
ESC.CTR.LH	51	Motor 2	CCW
ESC.FWD.LH	52	Motor 3	CW
ESC.AFT.RH	53	Motor 4	CCW
ESC.FWD.RH	54	Motor 5	CCW
ESC.AFT.RH	55	Motor 6	CW
PUSHER ESC	56	Motor 7	CW



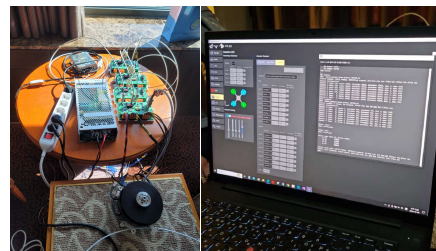
■ RawCommand to RPM 변환

$$\text{변환 수식: } rpm = 3600 \times \sqrt{\frac{\text{RawCommand}}{8191}}$$



■ DroneCAN 통신 시험

- 시험 구성: ESC + FC(Pixhawk X4) + PC(QGroundControl)
- ESC Node ID 할당, 데이터 송수신 확인, 모터 무부하 시험 진행



[ESC 4대 + 구동 시험용 모터]

[QGroundControl]

6/

6

2

연구개발 현황

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

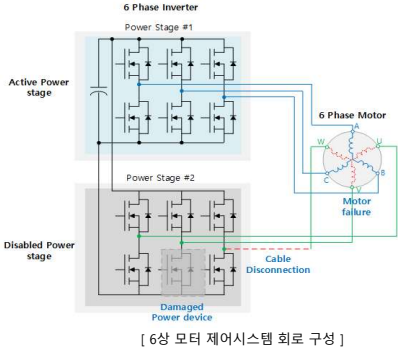
단계보고서 : p. 31

연구개발 진행사항


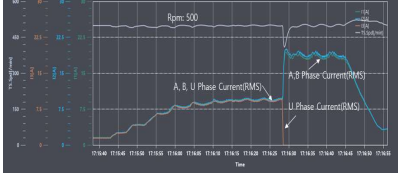
» 고장 허용 운전 제어 구현

■ 고장 허용 운전 제어

- 다상 전동기는 임의의 상이 고장 시에도 연속적인 운전이 가능.



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

7

2

연구개발 현황

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

연구개발 진행사항

» 3.5kW ESC 개선 필요성

■ 추력/제어 마진 확보를 위해 3.5kW ESC 개선 필요

- ESC 입력기준 연속운전: 3.5kW → **4kW**, 최대: 5kW → **7kW** (최소 2분 이상 운용)

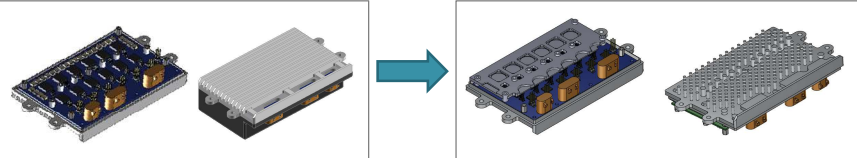
■ 운용 영역에서 안정성 확인

- 비행제어 시 요구되는 모터 시정수: 약 0.23초 → 최대 스톱 (3,500rpm) 명령 인가 시 약 **10,145rpm/sec**의 가속도 필요

» 3.5kW ESC 방열 구조 개선

■ MOSFET 냉각을 위한 heatsink 구조 개선

- 방열판 공기 흐름 방향을 고려하여 **핀 형상 변경**
- MOSFET 소자의 상부 body쪽도 냉각하기 위해 **방열판 추가**, 양면 쿨링 형태
- 3.5kW ESC 1대 기준 무게 변화: 기존 561g → 600g, 약 **40g 증가**.



[기존 3.5kW ESC 형상] [신규 3.5kW ESC 형상]

8

2

연구개발 현황

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

연구개발 진행사항

» 3.5kW ESC – 최대 출력 시험 (2024. 8. 7)

■ 시험 조건

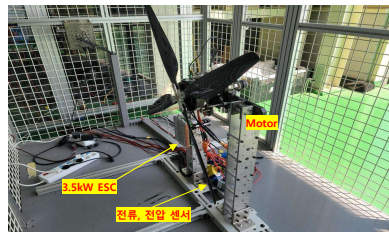
- 4엽 프로펠러 부하
- ESC 입력 기준 4kW, 5kW, 6kW, 7kW 프롭부하시험 진행
- 포화온도 또는 한계온도까지 시험을 진행하여 ESC의 운용 가능한 시간과 최대 출력 확인.

ESC 입력 전력 [kW]	ESC 입력 전압 [V]	모터 제어 속도 [RPM]
4	95	3,080
5	100	3,300
6	105	3,500
7	120	3,660

[시험 운전 조건]

■ 시험 장비

- 전력분석기: 인버터의 전기적 입력, 출력 계측
- ESC 내부 센서: ESC 온도, 모터 온도 계측
- RC-Benchmark: 모터 속도 및 추력 계측



[프롭다이노모 시험 (장소: 한국전기연구원)]

9

9

2

연구개발 현황

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

연구개발 진행사항

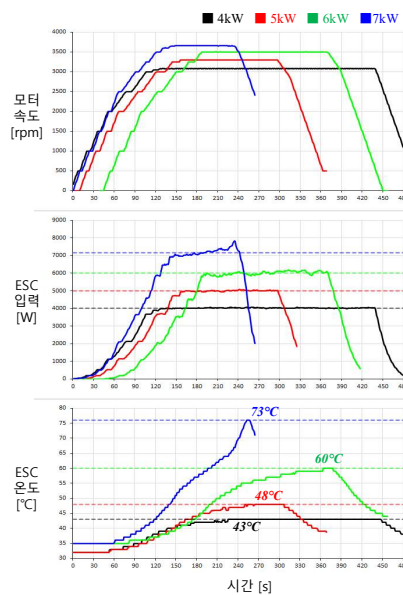
» 3.5kW ESC – 최대 출력 시험

■ 시험 결과

- ESC 입력 기준 5kW까지 연속운전 가능
- 4kW 조건에서 ESC 포화 온도: 43°C
- 5kW 조건에서 ESC 포화 온도: 48°C

시험 조건	4kW	5kW	6kW	7kW
ESC 입력 전압 [V]	93.70	98.60	103.50	118.41
ESC 입력 전류 [A]	43.00	50.72	58.05	60.47
ESC 입력 전력 [W]	4028.72	5001.24	6008.54	7160.47
ESC 출력 전류 [A]	23.94	28.25	33.97	38.26
모터 속도 [rpm]	3079.48	3299.37	3499.27	3658.75
토크 [Nm]	10.33	11.81	13.10	14.53
추력 [kgf]	20.99	24.03	26.47	29.18
기계적 출력 [W]	3316.55	3897.25	4789.24	5600.
운전 시간 [sec]	307	139	180	73
ESC 포화 온도 [°C]	43	48	-	-
ESC 최고 온도 [°C]	-	-	60	76

[속도 유지구간 평균 데이터]



10

10

2

연구개발 현황

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

연구개발 진행사항

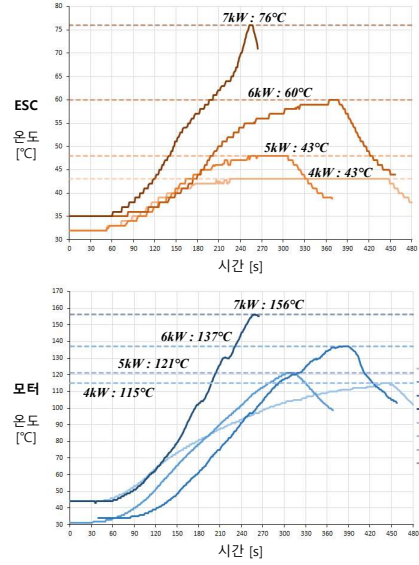
» 3.5kW ESC – 최대 출력 시험

■ 시험 결과

- 6kW이상 조건에서 모터 과열로 인해 연속 시험 불가
- 6kW 조건에서 ESC 최고 온도: 60

시험 조건	4kW	5kW	6kW	7kW
ESC 입력 전력 [V]	93.70	98.60	103.5	118.41
ESC 입력 전류 [A]	43.00	50.72	58.05	60.47
ESC 입력 전력 [W]	4028.72	5001.24	6008.54	7160.47
ESC 출력 전류 [A]	23.94	28.25	33.97	38.26
모터 속도 [rpm]	3079.48	3299.37	3499.27	3658.75
토크 [Nm]	10.33	11.81	13.10	14.53
추력 [kgf]	20.99	24.03	26.47	29.18
기계적 출력 [W]	3316.55	3897.25	4789.24	5600.
운전 시간 [sec]	307	139	180	73
ESC 포화 온도 [°C]	43	48	-	-
ESC 최고 온도 [°C]	-	-	60	76
모터 최고 온도 [°C]	115	121	137	156

[속도 유지구간 평균 데이터]



11/

11

2

연구개발 현황

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

연구개발 진행사항

» 3.5kW ESC – 시정수 시험

■ 시험 조건

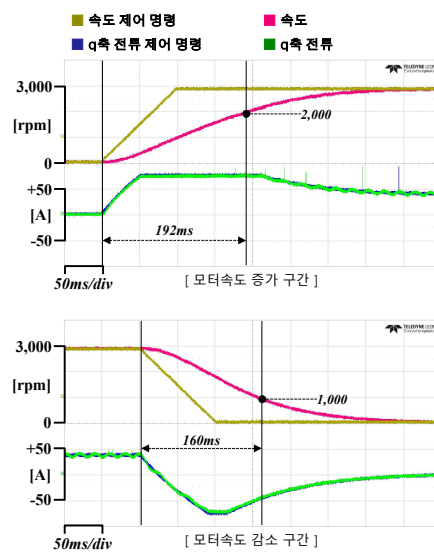
- 부하 : 2엽 프로펠러(T-motor G40x13.1)
- ESC 입력 전압 : 100 [V]
- 속도 지령 : 3,000 [rpm]

■ 시험 결과

- 최대 가속도: 약 10,416 [rpm/s]



[프로펠러나모 시험]



12/

12

2

연구개발 현황

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

연구개발 진행사항

» 12kW ESC – 풍동 시험

■ 시험 조건

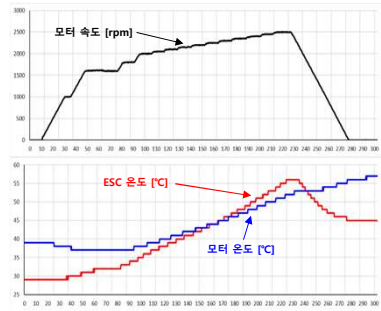
- 풍속: 0 ~ 30 m/s
- 모터속도: 600 ~ 2500 rpm

■ 시험 결과

- 12kW ESC 최대출력: 약 11.7kW

[경운대학교 풍동시험장]

- ESC 온도 문제로 인해 12kW 연속운전 불가 → 방열 구조 개선필요.



Motor Sped [rpm]	DC Voltage [V]	DC Current [A]	Electrical Power [W]	Mechanical Power [W]	Motor Temp [°C]	ESC Temp [°C]
1600	98.0	18.4	1803.6	1291.3	37.0	32.0
1999	97.5	52.7	5131.9	4211.4	38.0	35.0
2100	97.3	61.2	5952.3	5174.0	40.0	39.0
2198	97.0	73.8	7159.2	6228.8	43.0	42.0
2299	96.3	88.0	8479.0	7373.2	45.0	46.0
2399	95.8	106.3	10193.2	8640.7	49.0	51.0
2499	95.5	122.5	11703.1	9963.2	53.0	56.0

[풍속: 30m/s 시험 결과]

13

13

Chapter 3

연구개발 계획

14

3

연구개발 계획

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

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)	· 완성시제품의 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

15

3

연구개발 계획

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

평가항목별 목표

» 정량적 평가 항목

시험조건	가중치	연차	연차별 목표 (조건/환경)
· (정량) 다중화 드라이브의 출력 및 제어 정밀도	40%	3차년도 (2025)	다중화 드라이브 출력 용량: 12kW 다중화를 위한 여유분(Redundancy): 2대 전류 제어 정밀도: 전류 지령의 1% 이내 오차 RPM 제어 정밀도: 속도 지령의 1% 이내 오차 위치 제어 정밀도: 위치 지령 오차 2° 이내
· (정량) 다중화 드라이브의 비출력	20%	3차년도 (2025)	12kW급 다중화 드라이브 비출력: 6kW/kg

16

3

연구개발 계획

이동수요맞춤형 고효율 전기구동장치를 위한 다중화 드라이브 기술개발

단계보고서 : p. 31

연구개발 계획

» 12kW ESC – 개선 방안

I POWER MOSFET 소자 변경

- 전압 마진과 방열을 고려하여 소자 변경
기존 150V에서 200V로 변경

II 방열판 구조 변경

- 변경된 MOSFET 패키지에 따라 방열판 구조 변경
- MOSFET과 방열판 사이의 열 저항 감소



III 설계 및 제작 일정

- 회로수정 및 PCB 설계 완료
- 10월까지 시제품 제작 예정.

제품 번호	기존 IPT039N15N5ATMA1	변경 IRF200P222
사진		
제조업체	Infineon	Infineon
기술	MOSFET	MOSFET
드레인 소스 전압(V_{DS})	150V	200V
전류 - 연속 드레인(I_D)	190A	182A
온 저항($R_{DS(on)}$)	3.9mΩ	6.6mΩ
내전력	319W	556W
작동 온도	-55°C ~ 175°C	-55°C ~ 175°C
패키지	PG-HSOF-8	TO-247-3
무게	0.8g	6.4g

[MOSFET 사양 비교]

17

17

지금까지 경청해 주셔서
감사합니다



18