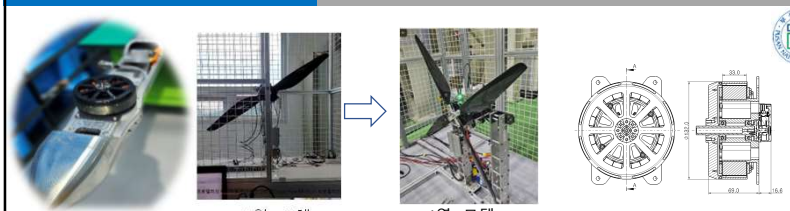


< 2엽 모델 >

< 4엽 모델 >

4kW급 고 비출력 다상전동기 보완시제 설계

목 차

1. 설계 제약 조건
2. 적층에 따른 성능 비교
3. 제어 마진 확보 위한 개선 방안
   - 적층별 코일 설계 변경
   - 코일 설계 변경 따른 성능 비교
4. 적층 33mm 모델 (09/05 선정)
5. 유첨 #1, #2
   - 적층 및 운전지점에 따른 성능 비교

설계 제약 조건 @추력 마진 조건

-. 설계 제약 조건 중 추력 마진 조건 고려

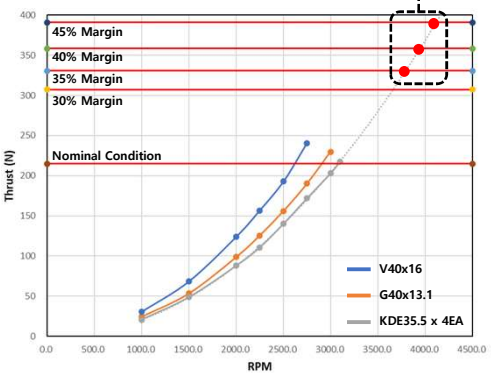
-. KDE35.5 x 4EA 프로펠러 S-T Curve (회색 그래프)

-. 비행체 제어 위한 추력(Thrust)

- Nominal 대비 최소 마진 35% 이상 필요 (표의 회색 영역)

-. 마진 고려한 운전 지점 (그래프 빨간 점)

- 운전 지점별 최적 형상 도출 필요



▲ 프로펠러별 부하 특성

RPM	Thrust	Torque	Mech. Power	Elec. Power	Efficiency
1000.0	20.6	1.1	115.9	196.2	59.10%
1500.0	48.5	2.5	399.4	501.3	79.66%
2000.0	87.8	4.5	946.8	1031.7	91.77%
2249.9	110.6	5.7	1347.7	1459.1	92.36%
2499.5	140.0	7.2	1872.8	2207.5	84.84%
2749.7	171.9	8.7	2510.8	3031.2	82.83%
3000.2	203.2	10.3	3247.0	3783.4	85.82%
3099.4	217.7	11.1	3592.3	4095.1	87.72%
					Margin
3660.0	307.2	15.5	5947.2	-	30%
3730.0	319.4	16.1	6298.9	-	33%
3795.0	331.0	16.7	6637.7	-	35%
3870.0	344.6	17.4	7043.4	-	38%
3945.0	358.4	18.1	7465.5	-	40%
4050.0	378.3	19.1	8084.2	-	43%
4115.0	390.9	19.7	8483.8	-	45%

설계 제약 조건 @형상 조건

-. 설계 제약 조건 중 형상 조건 고려

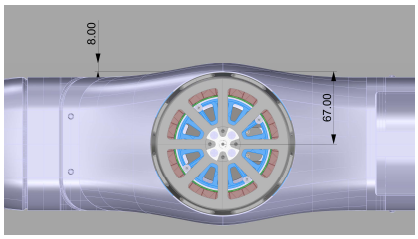
-. Radial 방향 최대 *2mm (기존 전동기 외경 121.40mm) *반지름 기준

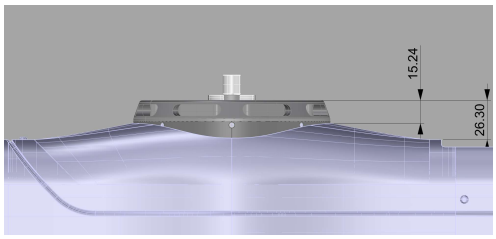
- 전동기 외경 변경 시 고정 형상변수 설정 (공극 등)
- 영구자석 등급 및 형상 확정 (기존 영구자석 N45UH, 2mm, 9°)

-. Axial 방향 +15mm ~ +25mm 검토 (기존 전동기 적층 22.05mm)

-. 두 조건 모두 고려 ① Radial 방향 → 기존 전동기 형상 활용

② Axial 방향 → 적층 길이별 검토





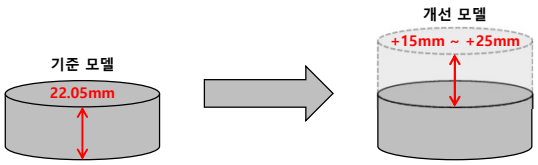
3

3

적층에 따른 성능 비교

-. 방사 방향 형상 유지 + 영구자석 등급 및 형상 유지

-. 적층 방향 +15mm ~ +25mm 검토 → 적층: 37mm ~ 47mm



-. 개설 모델에 대한 초기 검토

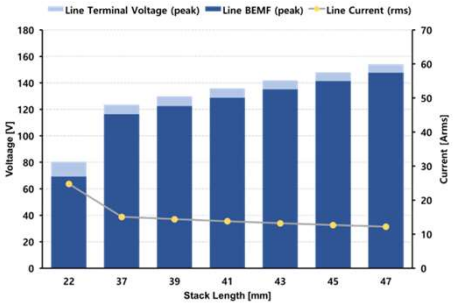
- 기준 모델에서 적층만 증가시킨 경우
- 해석 지점: 3100rpm, 11.1Nm (Nominal)

① 적층 따른 제어 마진 검토

→ 역기전력에 의해 단자 전압 상승 예상

② 입력 전류의 실효값과 밀도 감소

③ 해석의 세부내용 유첨 #1 참조 요망



▲ 적층별 역기전력, 단자 전압, 입력 전류 (Nominal)

4

4

제어 마진 확보 위한 개선 방안

-. 개선 설계 제한 범위

- 제한 조건: 배터리 전압(100V↓), 모터 입력 전류(90Arms↓)

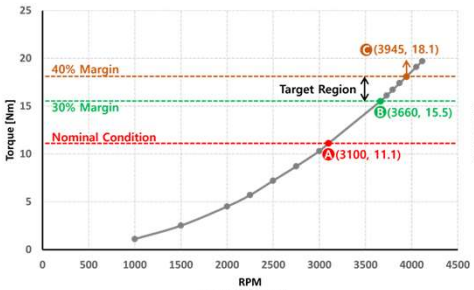
① Ⓑ(추력 마진 30%)부터 최대 배터리 전압(100V) 초과

② 추력에 관계없이 모터 입력 전류(90Arms↓) 만족

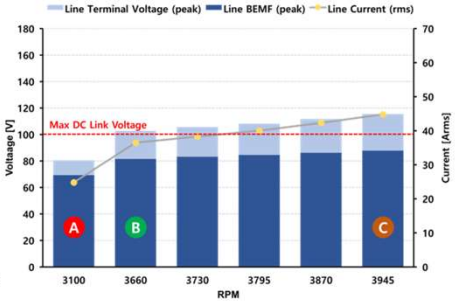
-. 목표: Ⓐ(Nominal)에서 역기전력 마진 50% 이상 확보

- 적층 또는 추력 증가 시 역기전력 마진 감소

→ 코일 설계 변경 통해 역기전력 마진 확보



▲ 마진별 운전지점



▲ RPM별 역기전력, 단자 전압, 입력 전류 (적층 22mm)

적층별 코일 설계 변경

-. 조건: 도체 단면적 일정하게 유지 (점적률: ~30%)

- 적층 22mm 기준 역기전력 69.3V (ϕ0.7mm, 52턴)
- 배터리 전압 대비 50% 역기전력 마진 위한 턴수

→ 52턴 : 69.3V = x턴 : 50.0V (∵ 역기전력∝턴수)

▲ 52턴(22mm)

▲ 37턴(22mm)

▼ 적층별 코일 턴수 및 직경

적층 [mm]	코일 턴수	완성경 직경 [mm]	나동선 직경 [mm]
22	37	0.898	0.830
37	22	1.154	1.076
39	21	1.179	1.102
41	20	1.204	1.129
43	19	1.233	1.158
45	18	1.268	1.19
47	18	1.268	1.19

※ 변경된 코일의 제작 가능성 검토 필요 (최대 완성경 1.268mm, 슬롯 오프닝 6mm)

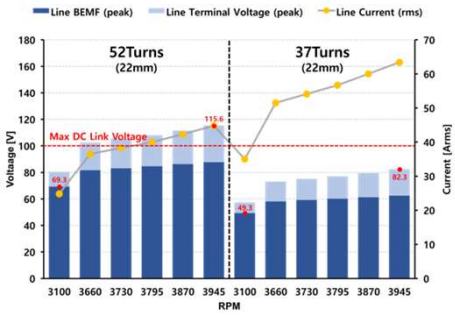
코일 설계 변경 따른 성능 비교(1)

-. 적층 22mm에서 코일 설계 변경 전후 비교

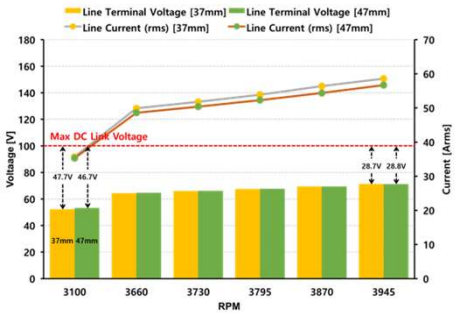
- 역기전력(@3100rpm): 69.3V → 49.3V, 단자 전압(@3945rpm): 115.6V → 82.3V
- 동일 기자력($N \cdot i$) 유지하므로 턴수 감소만큼 입력 전류 증가

-. 적층 37mm(+15) vs 47mm(+25) 성능 비교

- 전압 마진: 46.7~47.7V @3100rpm, 28.7~28.8V @3945rpm
- 추력에 관계없이 모터 입력 전류(90Arms↓) 만족



▲ RPM별 역기전력, 단자 전압, 입력 전류
(적층 22mm, 코일 변경 전/후)



▲ RPM별 단자 전압, 입력 전류
(적층 37, 47mm, 코일 변경 후)

7

7

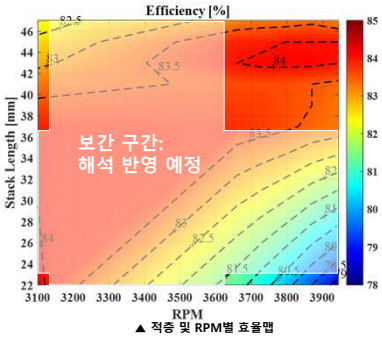
코일 설계 변경 따른 성능 비교(2)

-. 코일 설계 변경 후 속도(x축)와 적층(y축) 따른 효율

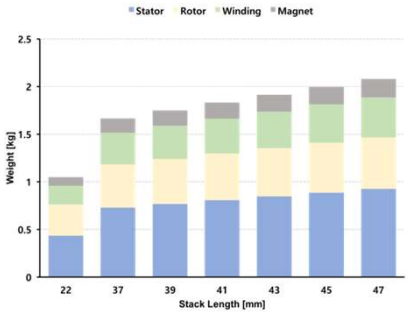
- 적층에 완전히 비례하진 않음 (철손 증가 및 저항 상승)
- 적층 43 ~ 45mm에서 마진 영역 최대 효율 (약 84%)

-. 코일 설계 변경 후 적층별 중량 비교 (Lift 모터 6대 사용)

- 적층 37mm 기준 $(1.67 - 1.02) \times 6 = 3.90kg$ 이상 중량 증가 예상
- 적층 47mm 기준 $(2.08 - 1.02) \times 6 = 6.18kg$ 이상 중량 증가 예상



▲ 적층 및 RPM별 효율맵



▲ 적층별 중량 비교

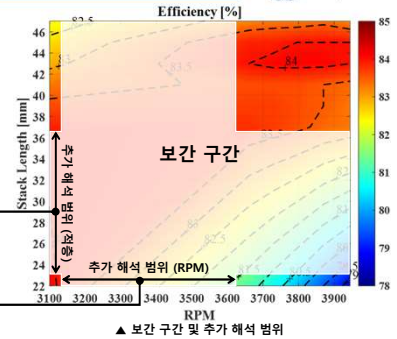
8

8

보간 구간 추가 해석

-. 보간 구간 내 적층 및 운전지점

- 적층: 22 ~ 37mm (단위: 2mm)
  → 적층만 변경한 경우 진행 中 (회색 음영)
- 운전지점: 3100 ~ 3660rpm (단위: 100rpm)
  → RPM별 토크 특성 계산 필요

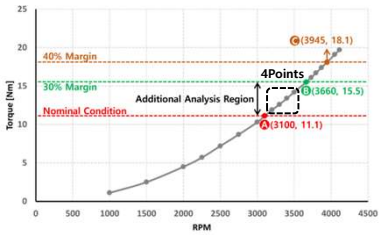


▲ 보간 구간 및 추가 해석 범위

-. RPM별 토크 특성 (팬 부하)

- RPM에 비례하여 부하 토크 상승
  → 3200 ~ 3500rpm 구간 토크 계산 (총 4points)

RPM	3200	3300	3400	3500
Torque [Nm]	11.9	12.6	13.4	14.2



▲ 추가 해석 범위(운전지점)

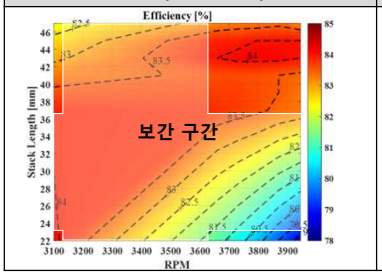
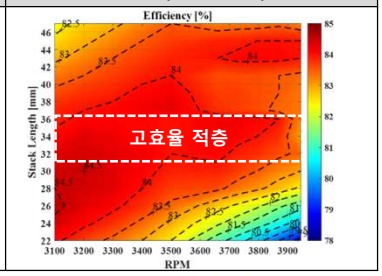
9

9

추가 해석 반영 결과

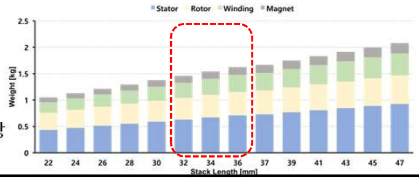
-. 추가 해석 전/후 효율맵 비교

- 저속 영역(3300rpm↓): 적층 26 ~ 36mm에서 고효율
- 고속 영역(3700rpm↑): 적층 32 ~ 36mm, 42 ~ 45mm에서 고효율
  → 적층 32 ~ 36mm: 전체 운전영역에서 상대적으로 고효율

효율맵(추가 해석 전)	효율맵(추가 해석 후)
	

-. 효율 고려한 적층별 중량 비교

- 저속 및 고속 영역에서의 고효율 적층(32 ~ 36mm)
  → 모터 단품 기준 0.41 ~ 0.58kg 이상의 중량 상승 예상



10

10

적층 33mm 모델 (09/05 미팅 선정 모델)

-. 적층 33mm 코일 설계 변경 (소선 수 1, 2)

적층 $[mm]$	코일 턴수	소선 수	완성경 직경 $[mm]$	나동선 직경 $[mm]$
33	25	1	1.081	1.010
		2	0.776	0.714

※ 해석 상 소선 수에 따른 성능 차이 無

-. RPM별 성능

적층 $[mm]$	RPM $[rpm]$	토크 $[Nm]$	선간 역기전력(peak) $[V]$	전압(peak) $[V]$	전류 $[A_{rms}]$	전류밀도 $[A/mm^2]$	효율 $[\%]$	중량 $[kg]$
33.0	3100	11.1	49.9	53.7	34.9	10.9	84.3	1.50 (0.45▲)
	3200	11.9	51.4	55.9	37.4	11.7	84.3	
	3300	12.6	53.0	58.1	39.6	12.4	84.3	
	3400	13.4	54.6	60.4	42.2	13.2	84.2	
	3500	14.2	56.2	62.8	44.8	14.0	84.0	
	3660	15.5	58.7	66.7	49.1	15.3	83.7	
	3730	16.1	59.8	68.5	51.2	16.0	83.6	
	3795	16.7	60.8	70.2	53.2	16.6	83.4	
	3870	17.4	62.0	72.2	55.6	17.4	83.2	
	3945	18.1	63.2	74.3	58.1	18.2	82.9	

유첨 #1

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 <코일 변경 전>

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @22.05mm, 37mm 코일 변경 전

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
22.05	3100	11.1	69.3	80.4	24.8	16.1	84.1	1.05
	3660	15.5	81.6	102.6	36.5	23.7	81.6	
	3730	16.1	83.2	105.4	38.3	24.9	81.1	
	3795	16.7	84.6	108.0	40.0	26.0	80.7	
	3870	17.4	86.2	111.5	42.3	27.5	80.0	
	3945	18.1	87.8	115.3	44.8	29.1	79.4	

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
37.0	3100	11.1	116.3	123.6	15.1	9.8	83.9	1.67
	3660	15.5	136.9	152.1	21.1	13.7	83.8	
	3730	16.1	139.5	155.9	21.9	14.2	83.7	
	3795	16.7	141.9	159.7	22.8	14.8	83.6	
	3870	17.4	144.6	164.0	23.8	15.5	83.4	
	3945	18.1	147.3	168.6	24.8	16.1	83.3	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @39mm, 41mm 코일 변경 전

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
39.0	3100	11.1	122.5	129.7	14.4	9.4	83.6	1.75
	3660	15.5	144.3	159.0	20.0	13.0	83.7	
	3730	16.1	147.0	162.7	20.8	13.5	83.7	
	3795	16.7	149.5	166.5	21.6	14.0	83.6	
	3870	17.4	152.4	171.1	22.6	14.7	83.5	
	3945	18.1	155.3	175.5	23.5	15.3	83.3	

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
41.0	3100	11.1	128.8	135.8	13.8	9.0	83.2	1.83
	3660	15.5	151.7	166.1	19.0	12.3	84.1	
	3730	16.1	154.6	170.1	19.7	12.8	84.1	
	3795	16.7	157.2	173.8	20.5	13.3	84.1	
	3870	17.4	160.2	178.1	21.3	13.8	84.1	
	3945	18.1	163.2	182.5	22.2	14.4	84.0	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @43mm, 45mm 코일 변경 전

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
43.0	3100	11.1	135.1	141.8	13.2	8.6	83.0	1.91
	3660	15.5	159.1	173.1	18.3	11.9	83.5	
	3730	16.1	162.1	177.4	19.0	12.3	83.5	
	3795	16.7	164.9	181.5	19.7	12.8	83.5	
	3870	17.4	166.9	185.8	20.5	13.3	83.4	
	3945	18.1	171.2	190.3	21.4	13.9	83.3	

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
45.0	3100	11.1	141.4	147.9	12.7	8.3	82.6	2.00
	3660	15.5	166.5	179.8	17.4	11.3	83.9	
	3730	16.1	169.7	184.2	18.1	11.8	83.9	
	3795	16.7	172.5	188.2	18.7	12.2	84.0	
	3870	17.4	175.9	193.2	19.5	12.7	84.0	
	3945	18.1	179.2	198.0	20.3	13.2	84.0	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @47mm 코일 변경 전

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
47.0	3100	11.1	147.7	154.1	12.2	7.9	82.2	2.08
	3660	15.5	173.9	186.8	16.7	10.9	83.7	
	3730	16.1	177.2	191.1	17.3	11.2	83.8	
	3795	16.7	180.2	195.5	18.0	11.7	83.9	
	3870	17.4	183.7	200.3	18.7	12.2	83.9	
	3945	18.1	187.1	205.5	19.5	12.7	83.9	

유첨 #2

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 <코일 변경 후>

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @22.05mm 코일 변경 후

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 $[mm]$	RPM $[rpm]$	토크 $[Nm]$	선간 역기전력(peak) $[V]$	전압(peak) $[V]$	전류 $[A_{rms}]$	전류밀도 $[A/mm^2]$	효율 $[\%]$	중량 $[kg]$
22.05	3100	11.1	49.3	57.3	35.0	16.2	84.1	1.05
	3200	11.9	50.86	60.11	37.7	17.43	83.7	
	3300	12.6	52.42	62.82	40.2	18.58	83.4	
	3400	13.4	52.42	62.82	40.2	19.92	83.0	
	3500	14.2	55.55	68.49	46.1	21.31	82.5	
	3660	15.5	58.1	73.1	51.5	23.8	81.2	
	3730	16.1	59.2	75.1	54.1	25.0	80.7	
	3795	16.7	60.2	77.0	56.7	26.2	80.2	
	3870	17.4	61.3	79.5	60.0	27.7	79.5	
	3945	18.1	62.5	82.3	63.4	29.3	78.8	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @24mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
24.0	3100	11.1	49.31	56.24	35	14.87	84.4	1.13
	3200	11.9	50.87	58.78	37.6	15.97	84.1	
	3300	12.6	52.43	61.43	40	16.99	83.8	
	3400	13.4	53.98	64.18	42.8	18.18	83.4	
	3500	14.2	55.56	67.11	45.7	19.41	82.9	
	3660	15.5	58.08	71.51	50.8	21.58	82.1	
	3730	16.1	59.17	73.44	53.1	22.55	81.7	
	3795	16.7	60.18	75.3	55.6	23.62	81.3	
	3870	17.4	61.33	77.63	58.6	24.89	80.8	
	3945	18.1	62.49	79.7	61.6	26.16	80.2	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @26mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
26.0	3100	11.1	50.27	56.43	34.3	13.71	84.6	1.21
	3200	11.9	51.87	58.88	36.8	14.71	84.3	
	3300	12.6	53.45	61.4	39.1	15.63	84.1	
	3400	13.4	55.03	64.07	41.8	16.71	83.8	
	3500	14.2	56.65	66.89	44.6	17.83	83.4	
	3660	15.5	59.22	71.57	49.3	19.71	82.7	
	3730	16.1	60.33	73.49	51.5	20.59	82.4	
	3795	16.7	61.35	75.31	53.8	21.51	82.1	
	3870	17.4	62.53	77.43	56.5	22.59	81.6	
	3945	18.1	63.71	79.5	59.3	23.71	81.2	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @28mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
28.0	3100	11.1	50.76	56.14	34	12.74	84.5	1.29
	3200	11.9	52.37	58.64	36.5	0.3524	84.4	
	3300	12.6	53.97	60.98	38.8	14.54	84.3	
	3400	13.4	55.56	63.64	41.4	15.52	84.0	
	3500	14.2	57.19	66.19	44	16.49	83.7	
	3660	15.5	59.79	70.63	48.3	18.1	83.6	
	3730	16.1	60.91	72.6	50.4	18.89	83.3	
	3795	16.7	61.94	74.63	52.5	19.68	83.1	
	3870	17.4	63.13	76.86	55	20.61	82.8	
	3945	18.1	64.32	78.9	57.7	21.62	82.4	

21

21

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @30mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
30.0	3100	11.1	48.94	53.48	35.4	11.94	84.4	1.38
	3200	11.9	50.5	55.76	37.9	12.78	84.5	
	3300	12.6	52.04	58.07	40.2	13.56	84.3	
	3400	13.4	53.58	60.41	42.9	14.47	84.1	
	3500	14.2	55.15	62.87	45.6	15.38	83.9	
	3660	15.5	57.65	66.84	49.9	16.83	83.9	
	3730	16.1	58.73	68.73	52	17.54	83.7	
	3795	16.7	59.73	70.53	54.1	18.25	83.5	
	3870	17.4	60.88	72.64	56.7	19.12	83.2	
	3945	18.1	62.02	74.88	59.3	20	83.0	

22

22

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @32mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
32.0	3100	11.1	50.27	54.36	34.6	11.24	84.3	1.46
	3200	11.9	51.87	56.67	37	12.02	84.4	
	3300	12.6	53.45	58.89	39.2	12.73	84.3	
	3400	13.4	55.03	61.33	41.8	13.58	84.2	
	3500	14.2	56.65	63.71	44.4	14.42	84.0	
	3660	15.5	59.22	67.69	48.5	15.75	84.1	
	3730	16.1	60.33	69.49	50.5	16.4	83.9	
	3795	16.7	61.35	71.22	52.5	17.05	83.8	
	3870	17.4	62.53	73.34	54.9	17.83	83.6	
	3945	18.1	63.71	75.5	57.4	18.64	83.4	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @33mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
33.0	3100	11.1	49.9	53.7	34.9	10.9	84.3	1.50
	3200	11.9	51.4	55.9	37.4	11.7	84.3	
	3300	12.6	53.0	58.1	39.6	12.4	84.3	
	3400	13.4	54.6	60.4	42.2	13.2	84.2	
	3500	14.2	56.2	62.8	44.8	14.0	84.0	
	3660	15.5	58.7	66.7	49.1	15.3	83.7	
	3730	16.1	59.8	68.5	51.2	16.0	83.6	
	3795	16.7	60.8	70.2	53.2	16.6	83.4	
	3870	17.4	62.0	72.2	55.6	17.4	83.2	
	3945	18.1	63.2	74.3	58.1	18.2	82.9	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @34mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
34.0	3100	11.1	49.31	52.87	35.4	10.61	84.1	1.54
	3200	11.9	50.87	55.08	37.9	11.36	84.3	
	3300	12.6	52.42	57.25	40.1	12.02	84.2	
	3400	13.4	53.97	59.43	42.7	12.8	84.1	
	3500	14.2	55.56	61.78	45.3	13.58	84.0	
	3660	15.5	58.08	65.46	49.4	14.81	84.2	
	3730	16.1	59.17	67.18	51.4	15.41	84.1	
	3795	16.7	60.17	68.89	53.4	16.01	84.0	
	3870	17.4	61.33	70.78	55.8	16.73	83.8	
	3945	18.1	62.48	72.96	58.7	17.6	83.0	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @36mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
36.0	3100	11.1	50.03	53.32	35	10.06	83.9	1.63
	3200	11.9	51.62	55.43	37.4	10.75	84.1	
	3300	12.6	53.19	57.62	39.7	11.41	84.1	
	3400	13.4	54.77	59.89	42.2	12.13	84.1	
	3500	14.2	56.38	62.04	44.8	12.87	84.1	
	3660	15.5	58.93	65.71	48.7	13.99	84.0	
	3730	16.1	60.04	67.39	50.7	14.57	84.2	
	3795	16.7	61.05	68.97	52.6	15.11	84.1	
	3870	17.4	62.23	70.96	55	15.8	84.0	
	3945	18.1	63.4	73.04	57.7	16.58	83.2	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @37mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
37.0	3100	11.1	49.2	52.3	35.7	9.8	83.9	1.67
	3200	11.9	50.74	54.32	38.2	10.5	84.0	
	3300	12.6	52.29	56.38	40.3	11.08	84.1	
	3400	13.4	53.84	58.63	42.9	11.79	84.2	
	3500	14.2	55.42	60.82	45.4	12.48	84.3	
	3660	15.5	57.9	64.4	49.9	13.7	83.8	
	3730	16.1	59.0	66.0	51.8	14.2	83.7	
	3795	16.7	60.0	67.6	53.9	14.8	83.6	
	3870	17.4	61.2	69.4	56.4	15.5	83.4	
	3945	18.1	62.3	71.3	58.6	16.1	83.3	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @39mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
39.0	3100	11.1	49.5	52.4	35.6	9.3	83.6	1.75
	3200	11.9	51.05	54.37	38.1	9.995	83.8	
	3300	12.6	52.61	56.36	40.2	10.55	83.9	
	3400	13.4	54.17	58.49	42.7	11.2	84.1	
	3500	14.2	55.76	60.72	45.2	11.86	84.2	
	3660	15.5	58.3	64.2	49.6	13.0	83.7	
	3730	16.1	59.4	65.7	51.5	13.5	83.7	
	3795	16.7	60.4	67.3	53.6	14.1	83.6	
	3870	17.4	61.6	69.1	56.0	14.7	83.5	
	3945	18.1	62.7	70.9	58.4	15.3	83.3	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @41mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
41.0	3100	11.1	49.6	52.2	35.7	8.9	83.3	1.83
	3200	11.9	51.12	54.2	38.2	9.544	83.5	
	3300	12.6	52.68	56.15	40.4	10.09	83.7	
	3400	13.4	54.24	58.2	42.8	10.69	83.9	
	3500	14.2	55.83	60.32	45.3	11.32	84.0	
	3660	15.5	58.4	63.9	49.7	12.4	83.6	
	3730	16.1	59.5	65.5	51.6	12.9	83.6	
	3795	16.7	60.5	66.9	53.7	13.4	83.6	
	3870	17.4	61.6	68.6	55.9	14.0	83.5	
	3945	18.1	62.8	70.3	58.3	14.6	83.4	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @43mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
43.0	3100	11.1	49.4	51.8	36.1	8.6	82.9	1.91
	3200	11.9	50.93	53.78	38.5	9.138	83.2	
	3300	12.6	52.48	55.72	40.7	9.66	83.5	
	3400	13.4	54.04	57.67	43.1	10.23	83.7	
	3500	14.2	55.63	59.75	45.6	10.82	83.9	
	3660	15.5	58.2	63.2	49.7	11.8	84.0	
	3730	16.1	59.2	64.7	51.6	12.3	84.1	
	3795	16.7	60.2	66.2	53.5	12.7	84.1	
	3870	17.4	61.4	67.9	55.8	13.2	84.1	
	3945	18.1	62.6	69.5	58.1	13.8	84.0	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @45mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
45.0	3100	11.1	48.9	51.2	36.6	8.2	82.6	2.00
	3200	11.9	50.49	53.11	39	8.77	82.9	
	3300	12.6	52.03	55.03	41.2	9.264	83.2	
	3400	13.4	53.58	56.98	43.7	9.827	83.5	
	3500	14.2	55.15	58.92	46.2	10.39	83.7	
	3660	15.5	57.7	62.2	50.3	11.3	83.9	
	3730	16.1	58.7	63.8	52.2	11.7	83.9	
	3795	16.7	59.7	65.2	54.1	12.2	84.0	
	3870	17.4	60.9	66.9	56.4	12.7	84.0	
	3945	18.1	62.0	68.5	58.7	13.2	84.0	

적층 및 운전지점에 따른 성능 비교 @47mm

코일 변경 후

Motor-driven Mechanical Module Lab

-. 적층별 각 운전지점에 대한 성능 비교

적층 [mm]	RPM [rpm]	토크 [Nm]	선간 역기전력(peak) [V]	전압(peak) [V]	전류 [A_{rms}]	전류밀도 [A/mm^2]	효율 [%]	중량 [kg]
47.0	3100	11.1	51.1	53.3	35.3	7.9	82.3	2.08
	3200	11.9	52.74	55.3	37.6	8.455	82.7	
	3300	12.6	54.35	57.27	39.6	8.905	82.9	
	3400	13.4	55.96	59.3	42	9.444	83.2	
	3500	14.2	57.6	61.33	44.4	9.984	83.5	
	3660	15.5	60.2	64.7	48.6	10.9	83.2	
	3730	16.1	61.3	66.2	50.4	11.3	83.3	
	3795	16.7	62.4	67.7	52.3	11.8	83.3	
	3870	17.4	63.6	69.4	54.4	12.2	83.4	
	3945	18.1	64.8	71.2	56.7	12.8	83.2	