



# MOTOR

유도식전동기 회전자형상에 따른 토크경향 분석

황승택 차창준

# 팀명 선정 이유



## 베스트 댓글

The screenshot shows a Facebook post with three comments. The first comment is from a user with a profile picture of a woman, with 13,934 likes and 163 replies. The second comment is from Serena Williams, with 16,085 likes and 98 replies. The third comment is from Victoria Elizabeth Beckham, with 12,120 likes and no replies shown.

Like · Reply · 13,934 · April 4 at 4:44pm  
↳ 163 Replies · 2 hours ago

**Serena Williams** Girl you don't know how many people ask me if I play tennis!!  
Like · Reply · 16,085 · April 4 at 9:50pm · Edited  
↳ 98 Replies · 6 hours ago

**Victoria Elizabeth Beckham** Just push here.  
Like · Reply · 12,120 · April 4 at 4:36pm

# 유도 전동기란?



Why? 유도 전동기

- 희토류의 희소성
- 높은 내구도 및 신뢰성

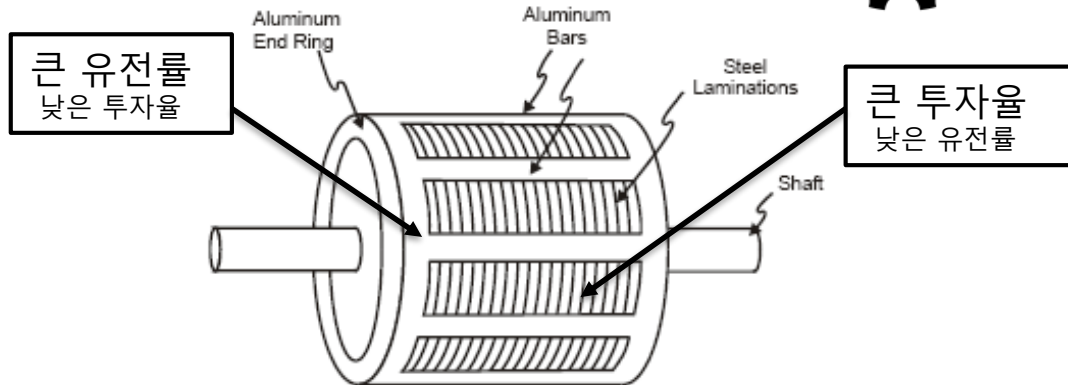
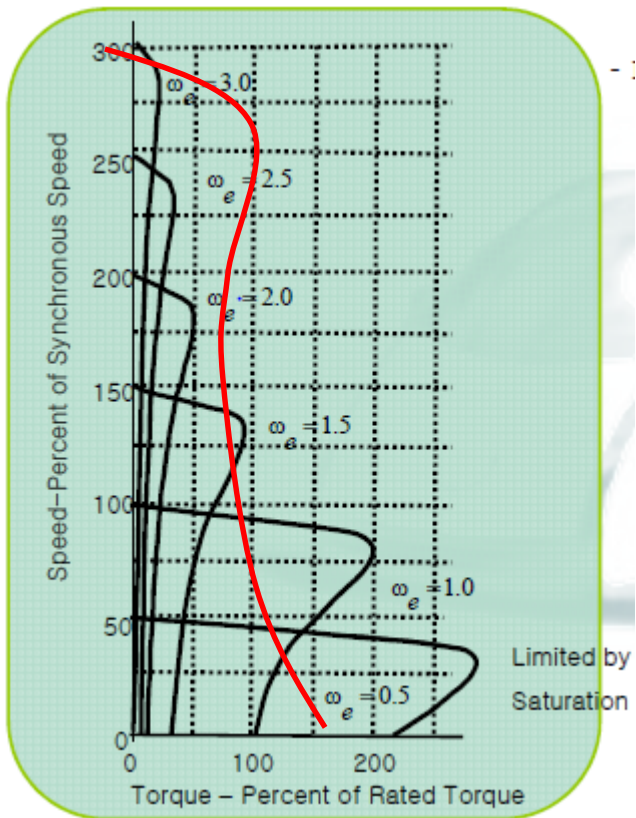


Figure 3-23. Squirrel cage induction motor rotor

- 전자기 유도 현상  
현상태를 유지하려는 방향으로 힘이 작용

# 유도 전동기의 단점 및 개선



## 단점

- 속도  $\propto$  회전자계의 주파수  
그러나, 회전자계의 주파수  $\propto \frac{1}{\phi}$
- ➔ 속도  $\propto$  입력전압 (효율이 떨어진다)

## 개선 필요점

- 저속구간에서 안정적인 토크 곡선

# 기본 필수 개념



## 저항 및 인덕턴스 관련 공식

•  $R = \frac{l}{\sigma S}$  ( $\sigma$ : 유전률)

•  $L = \frac{\lambda}{I} = \frac{N\phi}{I}$  ( $\phi$ : 자기 선속)

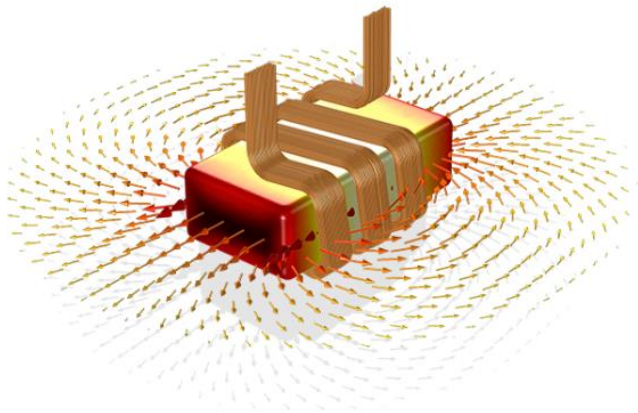
•  $F = NI = R_m \phi$  ( $F$ : 기자력)

•  $R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$  ( $R_m$ : 자기 저항)

## 역기전력 관련 공식

•  $V_{emf} = -N \frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S \bar{B} \cdot d\bar{s} = \int_L \bar{E} \cdot d\bar{l} = -\int_S \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} d\bar{s} + \oint_L (\bar{u} \times \bar{B}) d\bar{l}$

# 3D 모델의 제한



- Moving Mesh : 움직임이 큰 경우 오차



- Remesh : 소요 해석시간



- 경향성 파악에는 Too Heavy

# Simplified Model

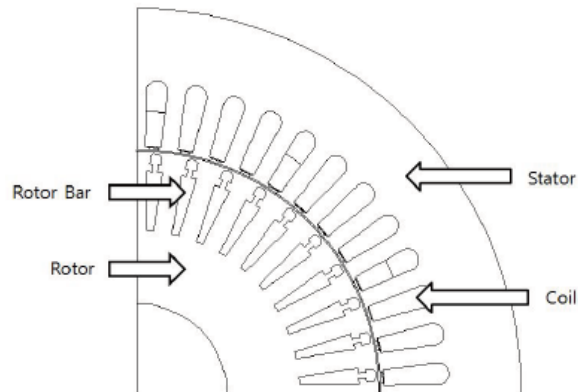


## 실제 근거 모델 (H사 공업용 IM)

구분	44 kW IM	비고
용량[kW]	44	
극수[극]	4	
상수[상]	3	
고정자 슬롯 수[개]	48	
회전자 슬롯 수[개]	40	
정격전압[V]	126.5	
Base Speed[rpm]	1800	Max speed: 6000[rpm]
주파수[Hz]	60~200	
공극길이[mm]	0.6	
전체외경[mm]	150	
기타 내부치수	임의 결정	F.E.M. 해석을 통해 변경

44kW 공업용 IM 전동기 설계 사양

회전자 재질 : 알루미늄



# Simplified Model



## Slip 변수해석의 타당성

$$H_s(\theta, t) = \frac{\sqrt{2}I_s N_s}{2g} \cos(\omega_s t - \theta)$$

- 회전자계 = 특정지점( $\theta$ )에서 정현적인 자속변화

Slip speed :  $n_s - n = sn_s$  ( $n_s$ : 동기속도 ,  $n$ :회전자의 회전속도 )

Slip frequency :  $f_2 = sf_1$  ( $f_1$ : 회전자계 주파수 ,  $f_2$ : 회전자가 느끼는 주파수 )

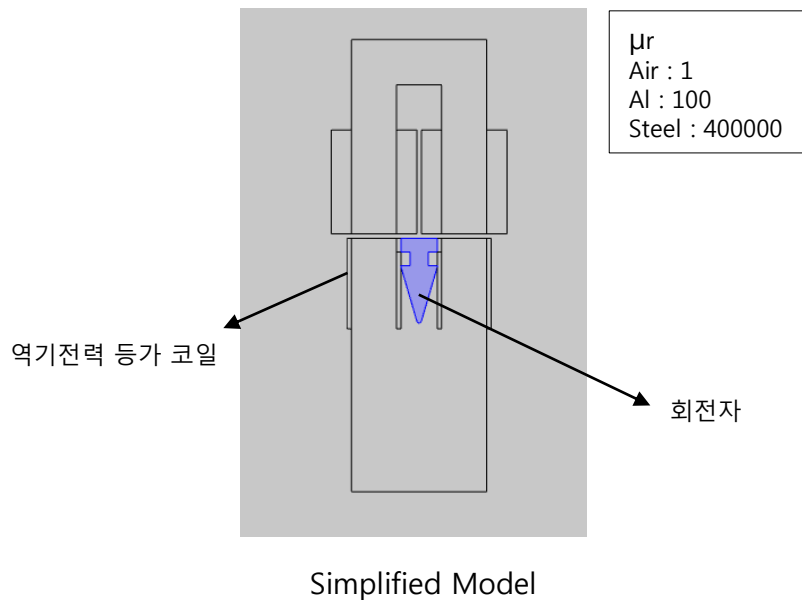
- 슬립 = 회전자가 느끼는 상대주파수의 감소



# Simplified Model



## Modeling과 가정



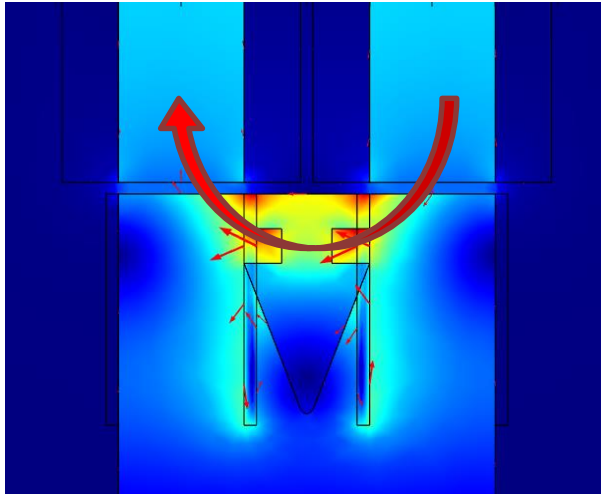
## 가정

- 낮은 주파수 : 전자장의 변위전류 무시
- 축 방향으로 충분히 길다 : 2차원 해석 가능
- 회전자 Equivalent : 정상상태, 4극, 40슬롯
- 역기전력 Equivalent : 2D 한계

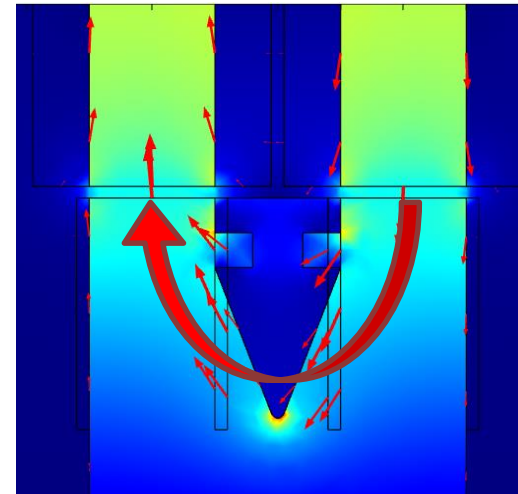
# Simplified Model



Analyze – Magnetic Flux Density



Slip 0.9

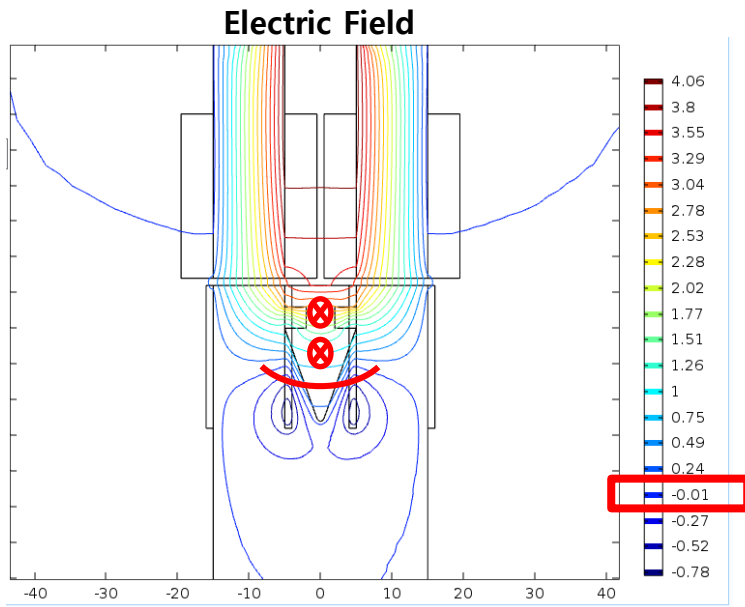


Slip 0.2

# Simplified Model



## Analyze – Induced Current



역기전력 Equivalent

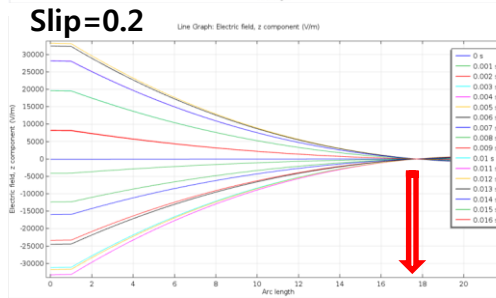
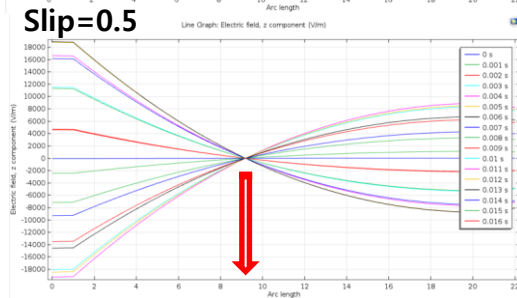
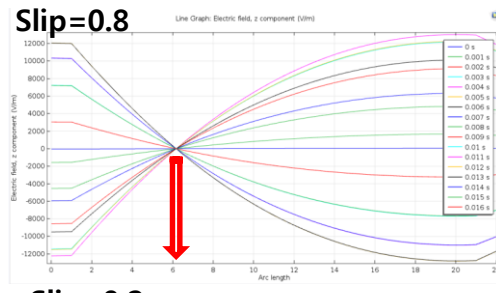
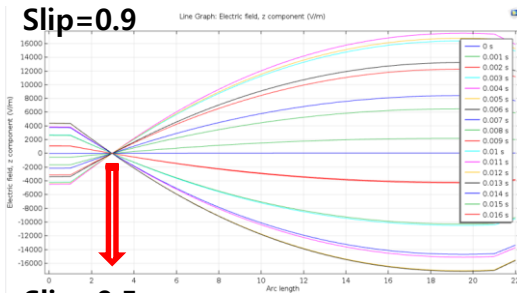


Electric Field로 전류가 흐르는 길 파악

# Simplified Model



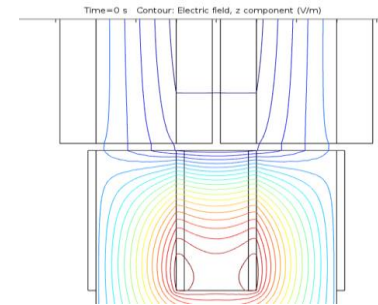
## Analyze – Induced Current



2D Cut Line



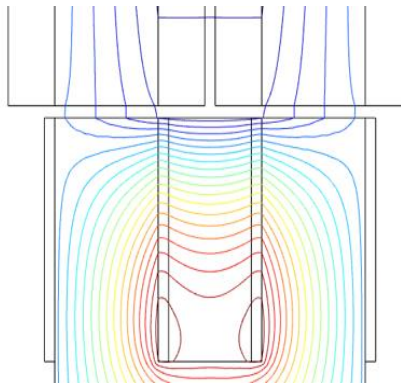
면적과 걸보기저항



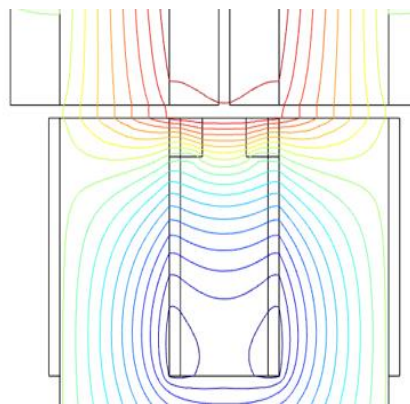
# 회전자 형상에 따른 경향



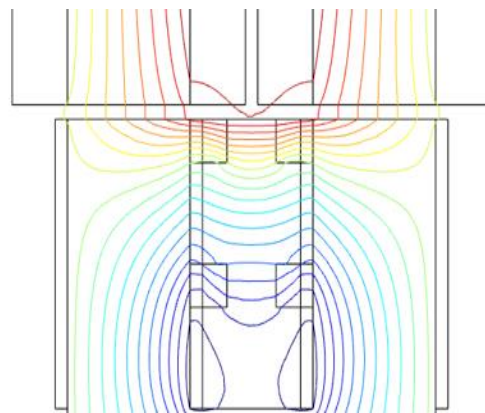
## 회전자 형상 Case



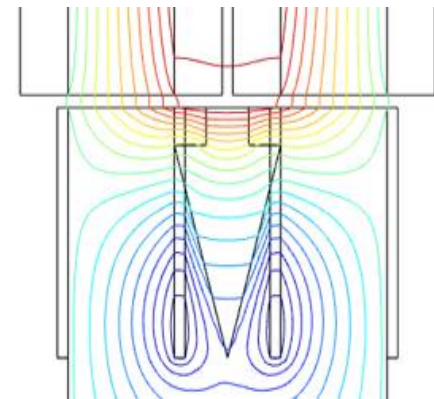
Case I



Case II



Case III



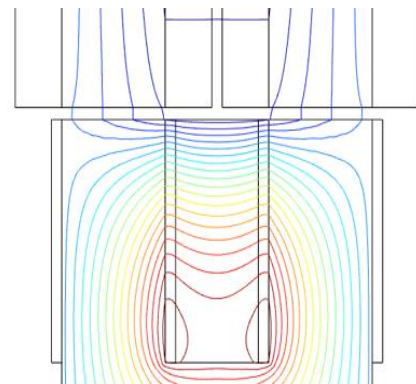
Case IV

# 회전자 형상에 따른 경향



## Case I

회전자 주파수(S)	겉보기 저항 [ohm]	유기전압 전류 위상차	Torque [Nm]
54Hz (0.9)	30	28.47°	103.47
48Hz (0.8)	61	13.61°	107.08
30Hz (0.5)	93	6.22°	85.73
12Hz (0.2)	170	1.213°	5.17

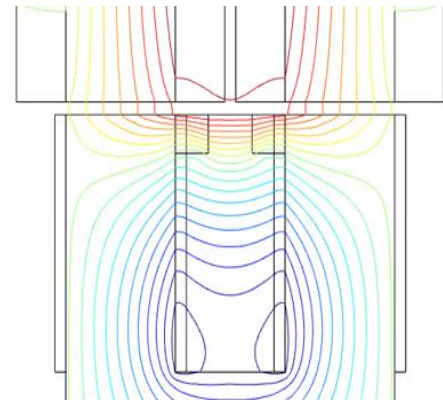


# 회전자 형상에 따른 경향



## Case II

회전자 주파수(S)	겉보기 저항 [ohm]	유기전압 전류 위상차	Torque [Nm]
54Hz (0.9)	9.2	58.91°	203.16
48Hz (0.8)	30	70.64°	102.05
30Hz (0.5)	54	23.8°	45.84
12Hz (0.2)	125	1.15°	13.82

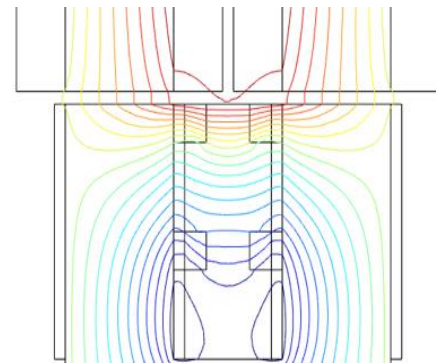


# 회전자 형상에 따른 경향



## Case III

회전자 주파수(S)	겉보기 저항 [ohm]	유기전압 전류 위상차	Torque [Nm]
54Hz (0.9)	9.2	55.72°	178.49
48Hz (0.8)	26	24.77°	124.48
30Hz (0.5)	54	9.46°	105.84
12Hz (0.2)	114	1.5°	8.29



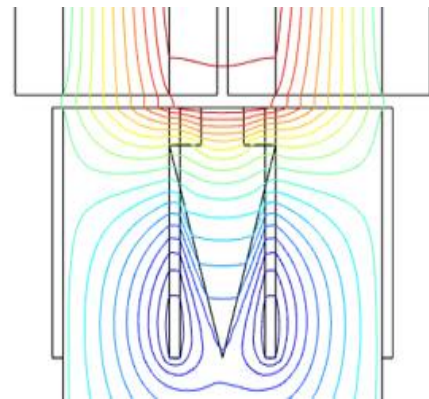


# 회전자 형상에 따른 경향



## Case IV

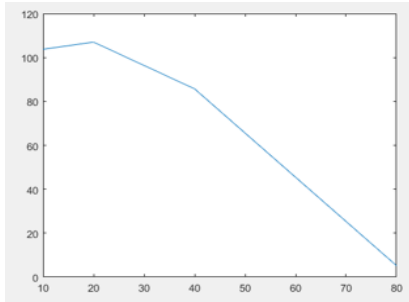
회전자 주파수(S)	겉보기 저항 [ohm]	유기전압 전류 위상차	Torque [Nm]
54Hz (0.9)	9.2	36.26°	96.67
48Hz (0.8)	31.2	10.88°	76.7045
30Hz (0.5)	42.1	6.10°	40.683
12Hz (0.2)	75	1.145°	4.32



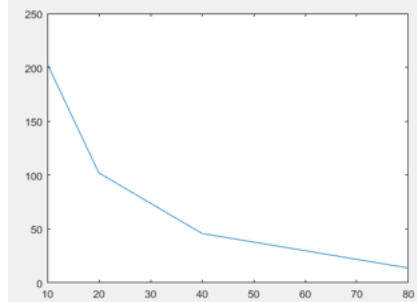
# 회전자 형상에 따른 경향



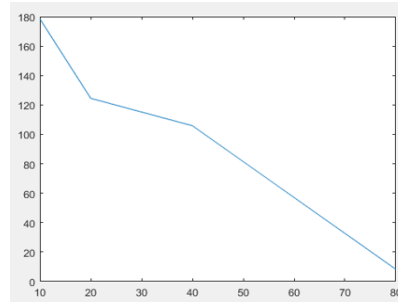
## Case에 따른 Torque 경향 비교



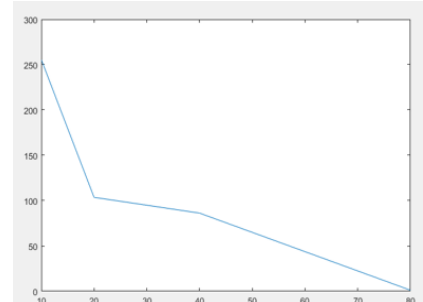
Case I



Case II



Case III

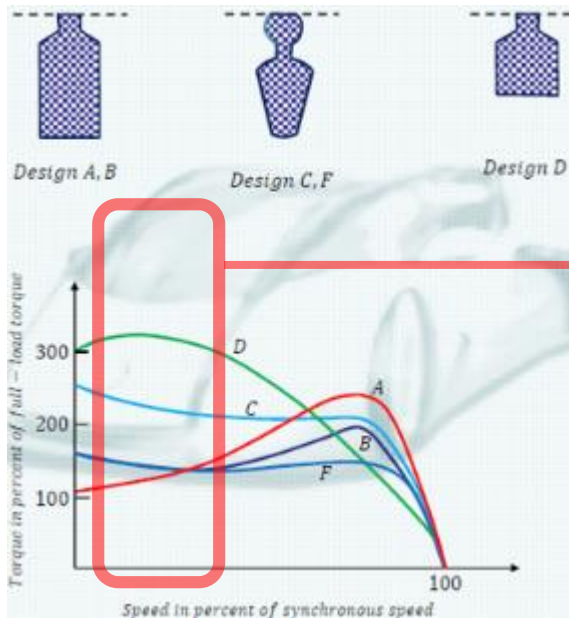


Case IV

# Targeting



## 타당성 검증



에너지변환공학 자료

Simplified Model과 유사한 경향

**Targeting!**

Hybrid Car

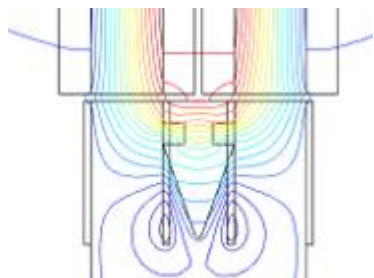
- 기동 시 고 토크 필요
- 저속 시 토크 기울기 음수 (복원력)
- 토크 기울기 급격한 변화 X

**⇒ Design C, F가 타당**

# Targeting

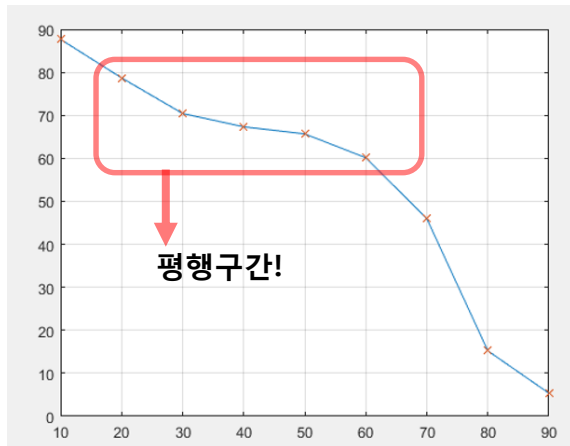


## Targeting – Hybrid Car



Design C, F

Torque [Nm]



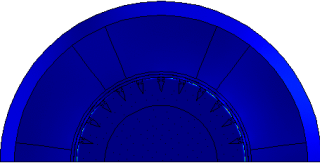
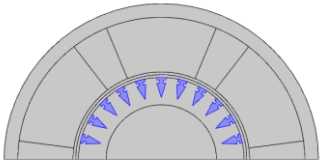
동기속도와의 비 [%] (Slip)

회전자 주파수(S)	궤보기 저항 [ohm]	유기전압 전류 위상차	Torque [Nm]
54Hz (0.9)	32	55.26°	87.67
48Hz (0.8)	41	47.88°	78.70
42Hz (0.7)	47	36.14°	70.42
36Hz (0.6)	52	24.11°	67.2
30Hz (0.5)	59	16.10°	65.68
24Hz (0.4)	64	14.27°	60.14
18Hz (0.3)	69	11.05°	45.97
12Hz (0.2)	75	3.14°	15.22
6Hz (0.1)	78	0.15°	5.37

# Conclusion



## Time Saving

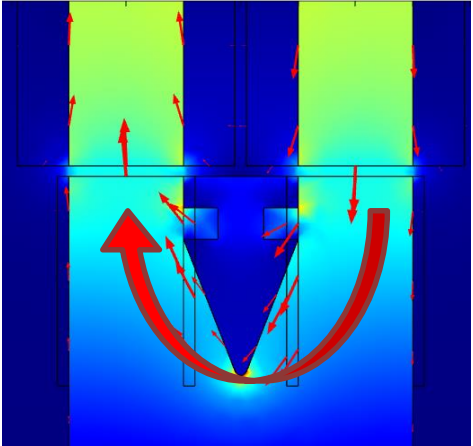


Simplify



Interval :  $\frac{1}{600}$ s

End time :  $\frac{3}{60}$ s



DOF : 32903    3min 24s

DOF : 2289    5s

Time **Trade OFF** Accuracy

⇒ 경향성 파악, 시간절약

# Q&A



베스트 댓글을 기다립니다.

댓글을 입력하세요...

친구 추가 하기



# 참고문헌



- “전기자동차용 유도전동기의 회전자형상에 따른 운전 특성 분석 연구”  
-황성률
- “Analysis of the Magnetic Field and Eddy Current Characteristics in Isolated Phase Bus System”, *KIEE*, vol.50C, no.10, Oct.2001  
-Jin-Soo Kim, Seung-Kil Choi, Duk-Yong Ha and Hyung-Boo Kan
- “반응표면법을 이용한 전기자동차 구동용 유도전동기의 회전자 슬롯형상 최적설계”, *JIEIE*, 58~66, 2011  
-전경원, 한성진
- “전기자동차용 농형 유도전동기 회전자형상의 최적설계 및 특성해석 연구”  
-이우열
- “에너지변환공학 학습자료”  
-홍정표