

HYBRID



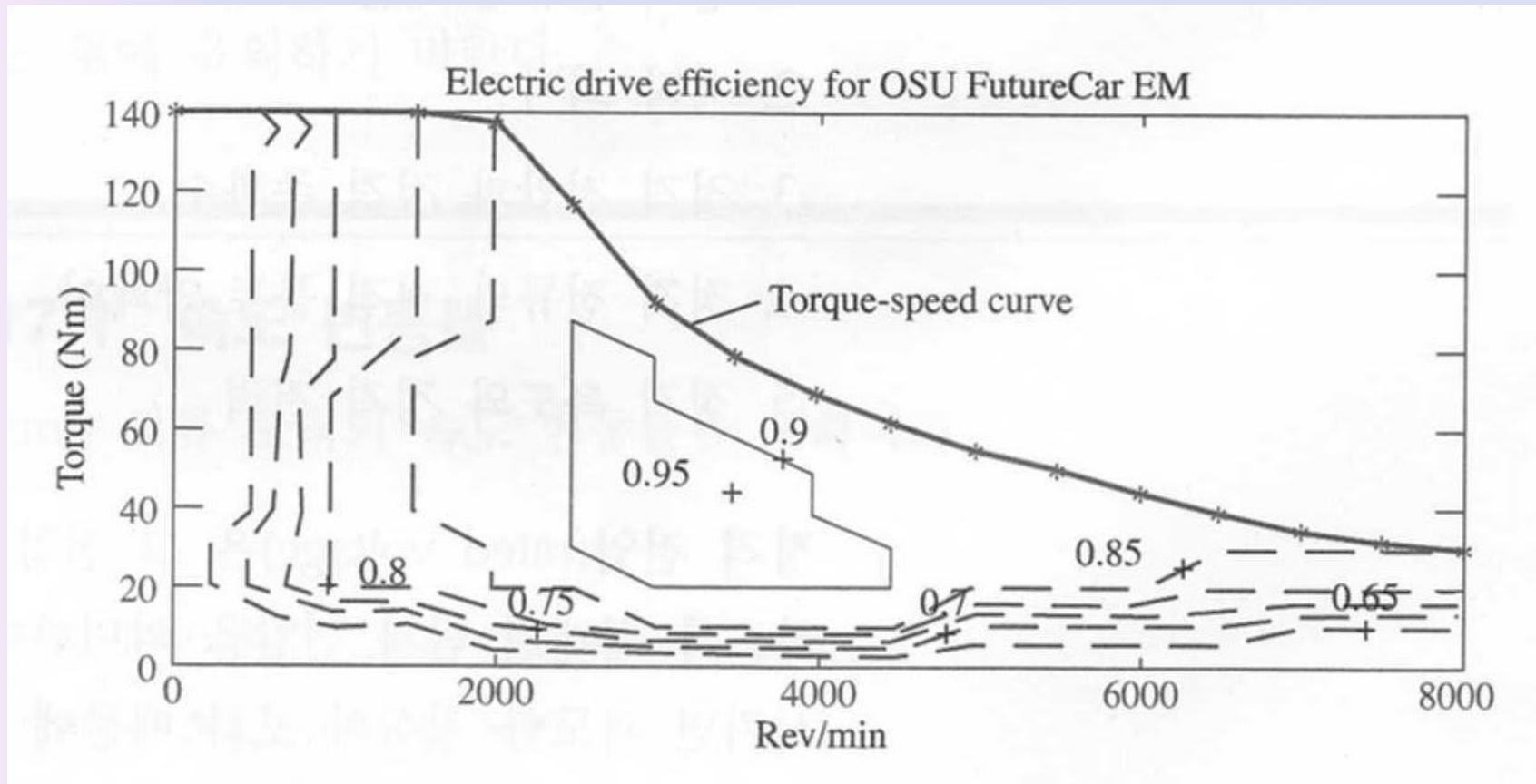
Hybrid 조
조장 강신웅
조원 김길수 손정동

차 례

- 문제의 인식
- 문제의 원인
- 개선방향
- Formulation
- 최적해 계산
- 비교 및 분석
- 결론

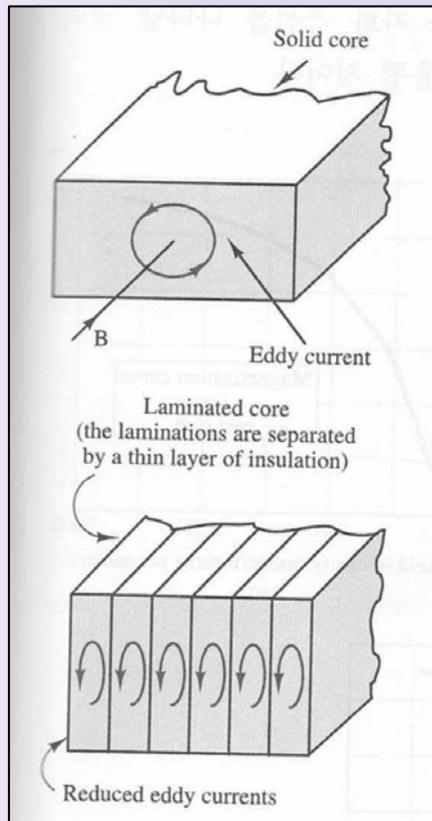


문제의 인식

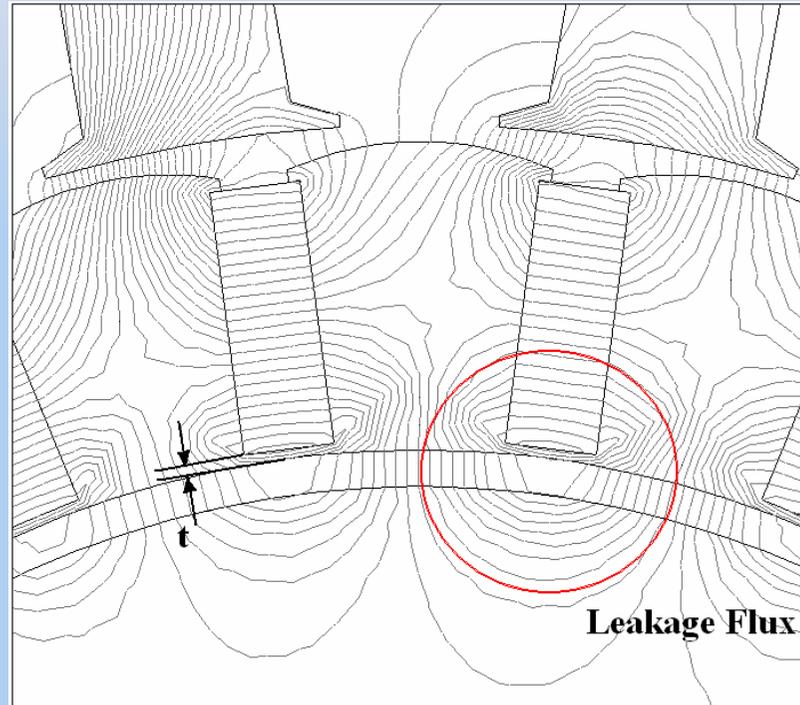


전기 모터의 토크 속도 선도

문제의 원인

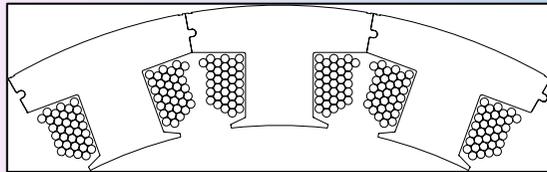
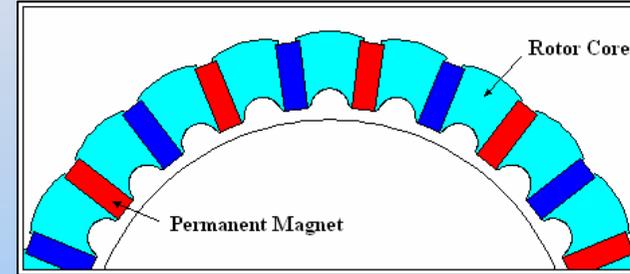
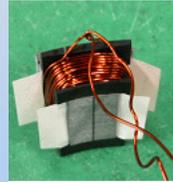
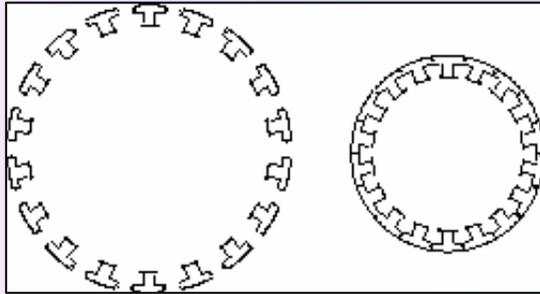


와전류



누설자속

개선 방향



Stator

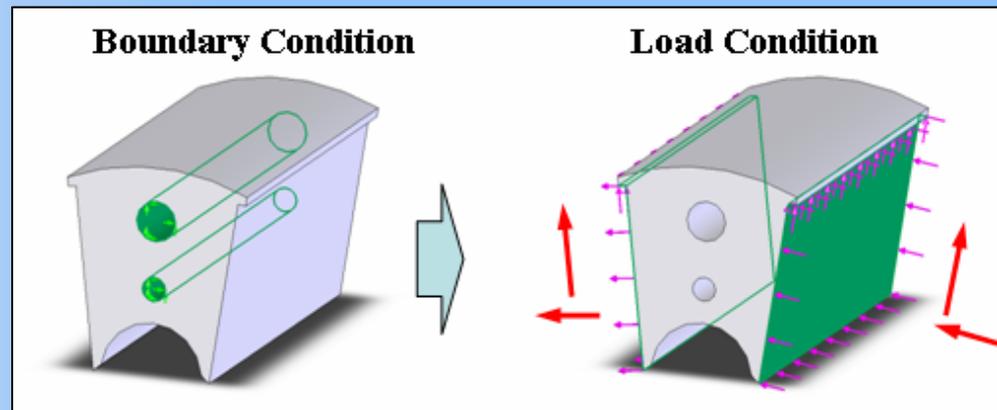
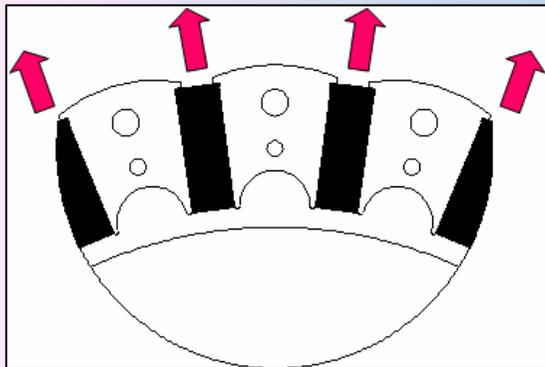
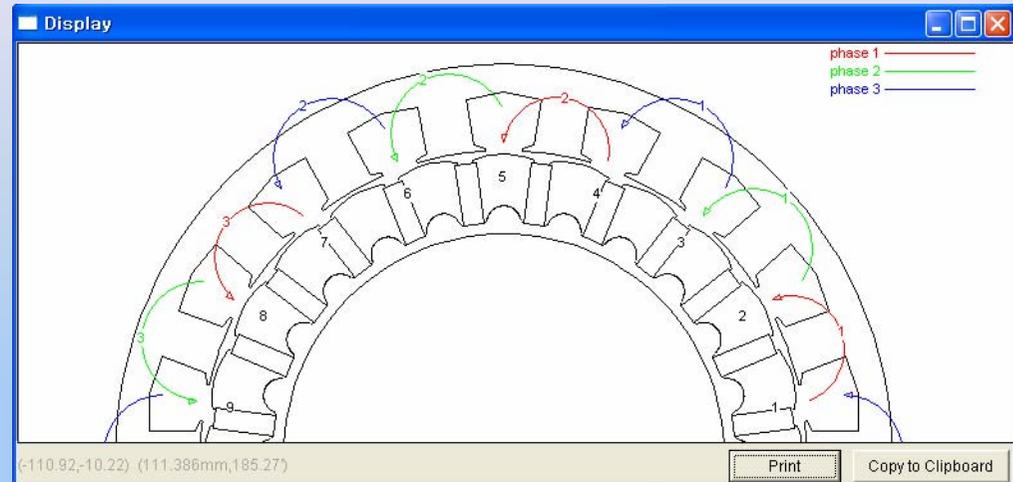
Rotor

Stator와 Rotor의
분할 코어 최적 설계

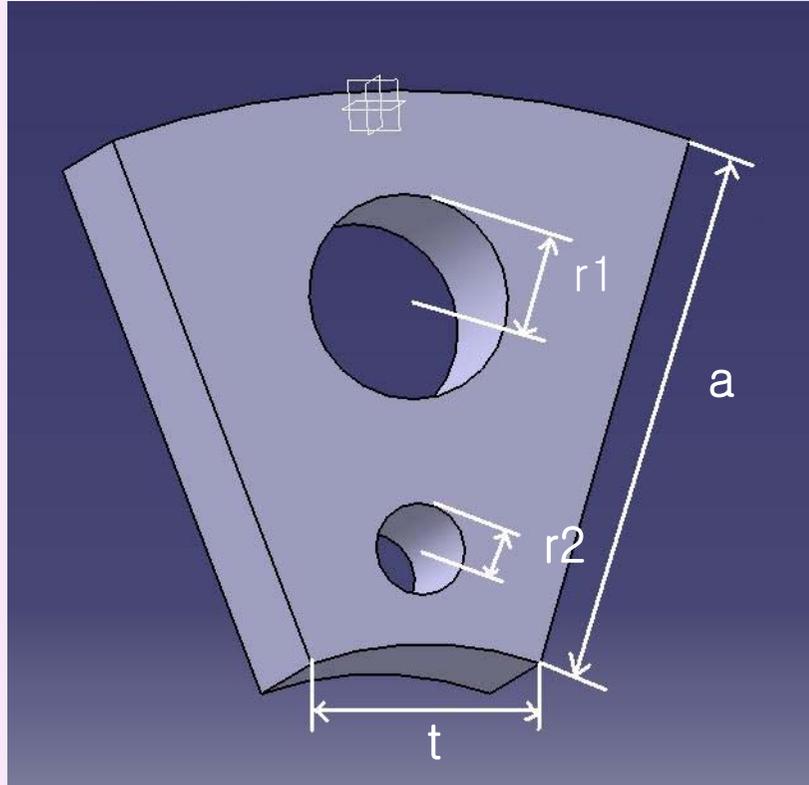
Formulation

Rotor의 각각의 분할 코어가
모터의 고속 회전 시 원심력에
충분히 견딜 수 있도록 설계.

설계의 제한 조건
코어 고정핀의 반경의 범위



Formulation 2



$$\text{Minimize } f = -N = \frac{2\pi(a-R)}{t} \quad \text{R,a,t}$$

subject to

$$\begin{cases} g_1 = 1 - \frac{S_y}{\frac{\rho \frac{a(2R-a)th}{R-a} R\omega^2}{2\pi(r_1^2 + r_2^2)} + \frac{\theta_a}{2\tau_p} B_g^2} \leq 0 \\ g_2 = a - R \leq 0 \\ g_3 = -a + 3(r_1 + r_2) \leq 0 \\ g_4 = -t + 2r_1 \leq 0 \end{cases}$$

$$f_{rs} = \frac{\theta_a}{2\tau_p} B_g^2 = \text{Power Flux (Rotor-Stator Attraction)}$$

R = 코어를 제외한 회전자의 반경

a = 코어의 원심력 방향 길이

r₁ = 고정핀 1의 반경

r₂ = 고정핀 2의 반경

t = 코어의 안쪽 두께

ρ = 코어 재질의 밀도

B_g : 공극자속밀도, θ_a : 기자력, τ_p : 극간격

$$V = F = mR\omega^2, \quad a \geq r_1 + r_2, \quad t \geq 1.5r_1$$

$$1 \geq \frac{S_y}{\tau + f_{rs}} = \frac{S_y}{\frac{V}{2A} + f_{rs}} = \frac{S_y}{\frac{mR\omega^2}{2\pi(r_1^2 + r_2^2)} + \frac{\theta_a}{2\tau_p} B_g^2} = \frac{S_y}{\frac{\rho \frac{a(2R-a)th}{R-a} R\omega^2}{2\pi(r_1^2 + r_2^2)} + \frac{\theta_a}{2\tau_p} B_g^2}$$

변수 및 상수 선정

변수

a, t

상수

$$S_y = 240 \text{ MPa} = 240 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$R = 0.168 / 2 \text{ m}$$

$$r_1 = 6 \text{ mm} = 0.006 \text{ m}$$

$$r_2 = 3 \text{ mm} = 0.003 \text{ m}$$

$$\rho = 7860 \text{ kg/m}^3$$

$$h = 25 \text{ mm} = 0.025 \text{ m}$$

$$\omega = \text{rpm} \times \frac{2\pi}{60} = 1200 \times \frac{2\pi}{60}$$

$$B_g = \frac{C_\phi}{1 + \mu_k k_c k_{ml} / P_c} B_\gamma \approx 0.4$$

$$\theta_a : 33 \times 100 \text{ A} = 3300 \text{ AT}$$

$$\tau_p : 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$$

$$\text{Minimize } f = -N = \frac{2\pi(a-R)}{t}$$

subject to

$$\begin{cases} g_1 = 1 - \frac{S_y}{\frac{\rho \frac{a(2R-a)th}{R-a} R\omega^2}{2\pi(r_1^2 + r_2^2)} + \frac{\theta_a}{2\tau_p} B_g^2} \leq 0 \\ g_2 = a - R \leq 0 \\ g_3 = -a + 3(r_1 + r_2) \leq 0 \\ g_4 = -t + 2r_1 \leq 0 \end{cases}$$

$$f_{rs} = \frac{\theta_a}{2\tau_p} B_g^2 = \text{Power Flux}$$

R = 코어를 제외한 회전자의 반경

a = 코어의 원심력 방향 길이

r₁ = 고정핀 1의 반경

r₂ = 고정핀 2의 반경

t = 코어의 안쪽 두께

ρ = 코어 재료의 밀도

B_g : 공극자속밀도, θ_a : 기자력, τ_p : 극간격

$$V = F = mR\omega^2, a \geq r_1 + r_2, t \geq 1.5r_1$$

$$1 \geq \frac{S_y}{\tau + f_{rs}} = \frac{S_y}{\frac{V}{2A} + f_{rs}} = \frac{S_y}{\frac{mR\omega^2}{2\pi(r_1^2 + r_2^2)} + \frac{\theta_a}{2\tau_p} B_g^2} = \frac{S_y}{\frac{\rho \frac{a(2R-a)th}{R-a} R\omega^2}{2\pi(r_1^2 + r_2^2)} + \frac{\theta_a}{2\tau_p} B_g^2}$$

최적해 계산 방법

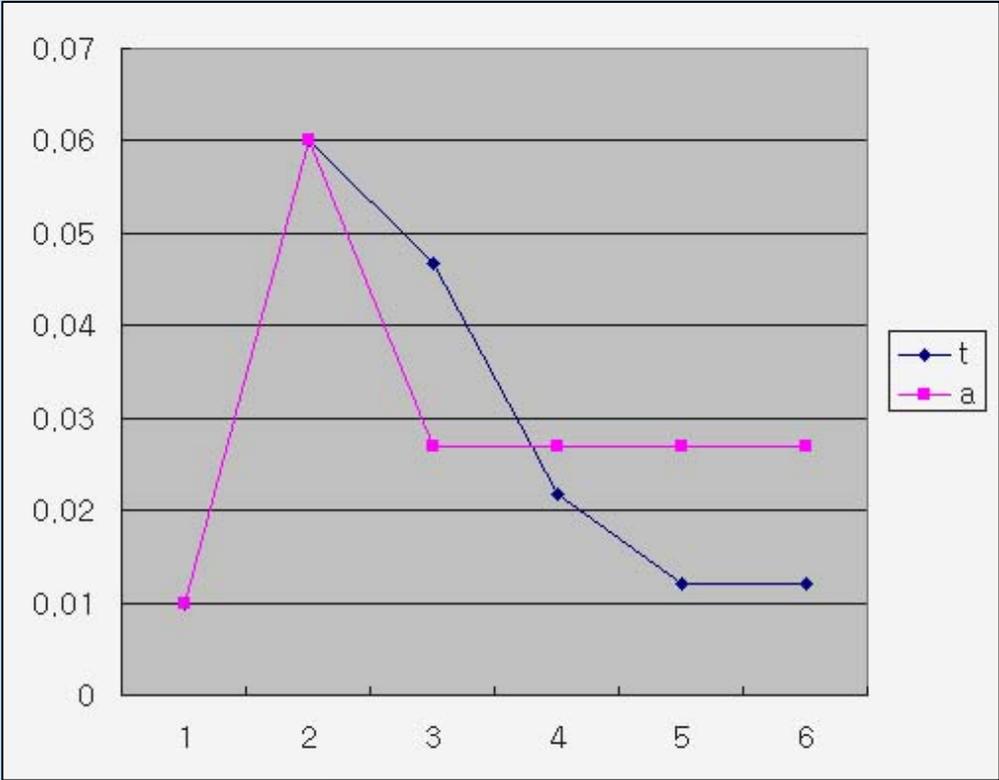
- 1) Excel Solver 뉴턴법
- 2) Excel Solver 공액경사법
- 3) Matlab fmincon

1) Excel Solver 뉴턴법

t	0.012
a	0.027
f	-29.8451
g1	-312.621
g2	-0.057
g3	0
g4	0

newton method

제한 조건			
셀	이름	계산 값	라그랑지 승수
\$C\$20	g1	-312.6214817	0
\$C\$21	g2	-0.057	0
\$C\$22	g3	0	-523.5987549
\$C\$23	g4	0	-2487.073486

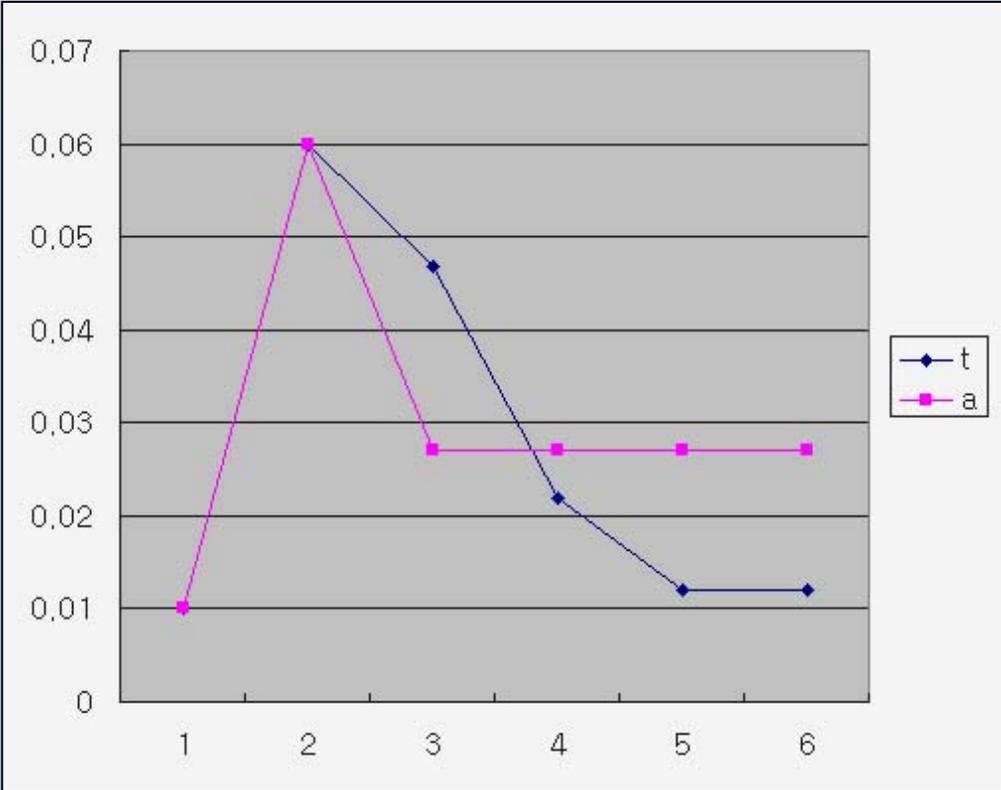


2) Excel Solver 공액경사법

t	0.012
a	0.027
f	-29.8451
g1	-312.621
g2	-0.057
g3	0
g4	0

conjugate gradient method

제한 조건			
셀	이름	계산 값	라그랑지 승수
\$C\$19	g1	-312.6214817	0
\$C\$20	g2	-0.057	0
\$C\$21	g3	0	-523.5987549
\$C\$22	g4	0	-2487.073486



3) Matlab fmincon

m-file

cost function

```
function z = ps(x)
```

```
z = 2*pi()*x(2)-0.084)/x(1)
```

constraint function

```
function [c,ceq]=pscon(x)
```

```
s=240*10^6
```

```
r=0.168/2
```

```
r1=0.006
```

```
r2=0.003
```

```
rh=7860
```

```
h=0.025
```

```
w=1200*2*pi()/60
```

```
b=0.4
```

```
th=3300
```

```
ta=0.01
```

```
c(1)=1-s/((rh*x(2)*(2*r-x(2))*x(1)*h)*r*w^2/(r-x(2))/2/pi()/(r1^2+r2^2)+th/2/ta*b^2)
```

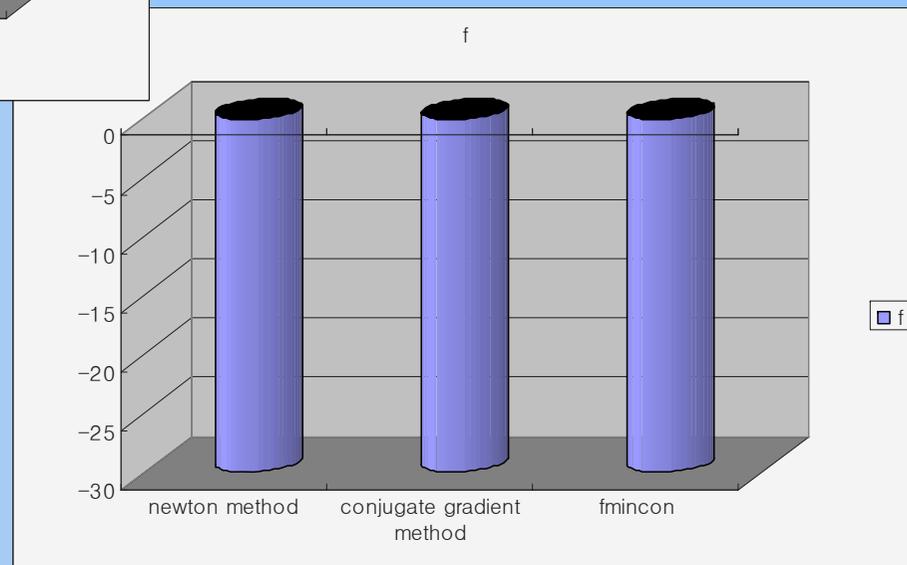
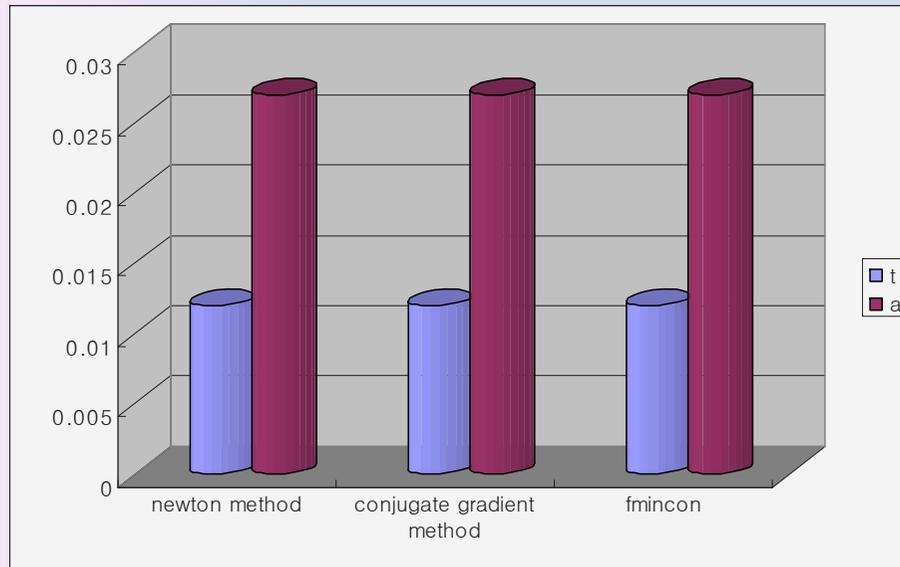
```
c(2)=x(2)-r
```

```
c(3)=-x(2)+3*(r1+r2)
```

```
c(4)=-x(1)+2*r1
```

```
ceq=[]
```


계산결과 비교



결 과 의 분 석

- Excel과 Matlab 프로그램 해석 방법으로 해석해 본 결과 모든 결과가 일치함을 알 수 있었다.
- 따라서 우리 조가 가정된 상황 내에서 Hybrid Car의 모터 최적코어 분할 수는 30임을 확인할 수 있었다.
- 이번 프로젝트를 위해 참고한 논문에서 얻은 최적 분할 수 23개보다 7개 향상된 결과 값을 얻을 수 있었다.
- 이 결과로 이번 프로젝트의 해석 방향이 긍정적인 방향으로 개선되었음을 확인할 수 있다.

결 론

Hybrid Car의 코어 및 고정자의 최적 분할수를 찾아냄으로써 변환속도의 최대화를 기대할 수 있고 연비 절감과 환경오염을 줄일 수 있을 것이다.