

김 태 우

부산대학교

강 영 영*

부산대학교

1. 서 론

기기의 용량이 대용화 됨으로써 기기의 체적이 상대적으로 커져야 하는 것과 제한된 공간의 효율적 활용을 위해 최소 체적 설계가 되어야만 한다.

초기의 채택식 설계방법은 유사한 기기의 자료나 경험치를 바탕으로 시행착오 방법으로 설계를 수행하였으므로 수학적 모델이 필요치 않으며 설계자의 경험이나 기술에 좌우될 경우가 많게 된다.

이와 유사한 방법으로 일본의 竹内壽太郎은 강하와 비용량과의 관계를 사용한 설계 방법을 고안하였다. 이는 앞서의 설계방법과 유사하나 계산과 그 절차가 간편하여 전 것이 특징이라 하겠다.

전자계산기의 출현과 더불어 보다 더 정확한 계산을 하고 설계시간을 줄일 수 있게 되었다.¹⁾

그 후 수치해석에 의한 최소점을 찾는 알고리즘을 설계에 도입한 설계기법²⁾⁻⁵⁾들이 연구되었다.

본 연구에서는 주어진 제약조건들을 만족시키면서 대형 직류모터의 최소 체적 설계치를 비가능점에서 출발이 가능한 비선형 계획법에 의한 최적화 설계방법을 연구하였다.

2. 최소 체적 설계

2.1 설계 개요

竹内壽太郎의 미증가 비례법에 의한 설계순서에 따라 초기 개념 설계를 수행하여 각 변수들의 초기값으로 삼는다.

자화 특성의 정확한 계산을 위하여 최소 자승 커브피팅 (least square method curve fitting) 방법을 사용하였다.

커브피팅된 결과는 (그림 1)에 나타나 있다.

영류 특성을 고력키 의해 리우렌스 전압, 영류 자 변간 전압을 점검하였으며 권선도체는 대전류를 고려하여 평균동선, 권기자도체의 권선 방법은 2중권선을 사용하여 프로그램화 한 구성도는 (그림 2)와 같다.

2.2 수학적 형식 (mathematical formulation)

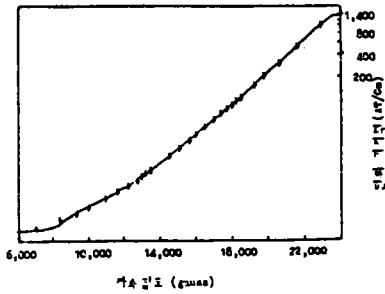


그림 1. 자화곡선
Fig. 1. Magnetization Curve

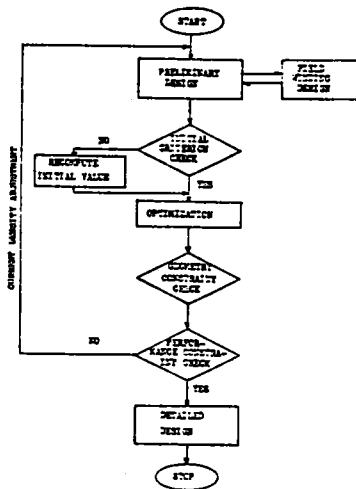


그림 2. 계산 과정
Fig.2. Flow Chart

비선형 계획법의 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$\text{minimize } F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

2.2.1 목적함수(objective function)

$$F = \frac{\pi}{4} (X_1 + 2X_3 + 2X_4 + 2X_5)^2 \cdot X_2 \quad (4)$$

회전자직경 : X_1

전기자코아길이 : X_2

공극 길이 : X_3

계자극 높이 : X_4

계철 두께 : X_5

여기에서 중점을 둔 부분은 회전자의 직경과 길이였으며 목적함수를 위한 자기적 단면도는 (그림 3)과 같다.

2.2.2 제약식(constrained equation)

최소화하고자 하는 크기를 구할 때 연식 (2), (3)으로 표시되는 여러가지 제약식을 만족해야 한다.

설계시 구 변수들간의 관계 및 제작상의 기하학적 제약, 자기회로에 관한 자기적 제약, 각 부분의 온도상승 제약, 경류특성 제약, 출력 제약으로 대낼 할 수 있다.

3. 최적화 기법 적용(optimization strategy)

3.1 허용오차법(flexible tolerance method)

$$\text{최소화} : f(\bar{x}) \quad x \in E^n$$

$$\text{제약조건} : \Phi(k) - T(\bar{x}) \geq 0 \quad (5)$$

$$\Phi(k) = \min \left\{ \Phi^{(k-1)}, \frac{m+1}{r+1} \sum_{i=1}^{r+1} \left\| \bar{x}_i^{(k)} - \bar{x}_{r+2}^{(k)} \right\| \right\} \quad (6)$$

$$k = 0, 1, \dots$$

$$\Theta(k) = \frac{m+1}{r+1} \sum_{i=1}^{r+1} \left\| \bar{x}_i^{(k)} - \bar{x}_{r+2}^{(k)} \right\| - \frac{m+1}{r+1} \left[\sum_{i=1}^{r+1} \sum_{j=1}^n (X_{ij}^{(k)} - X_{r+2,j}^{(k)})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$X_{ij}^{(k)} \quad j = 1, 2, \dots, n :$$

i 번째 점점좌표

$$\Theta(k) : \bar{x}_i^{(k)}, i = 1, 2, \dots, r+1$$

에서 중심 $\bar{x}_{r+2}^{(k)}$ 까지 평균거리

$$\Phi^{(0)} = 2(m+1) t$$

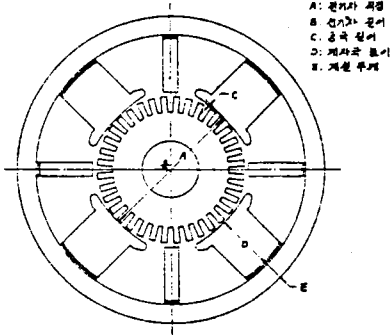


그림 3. 자기회로 단면도

Fig. 3. Cross section of magnetic circuit
 식 (5)에서 $T(\bar{x})$ 는 다음 식으로 정의된다.

$$T(\bar{x}) = \sqrt{\sum_{j=1}^m h_j^2(\bar{x}) + \sum_{i=m+1}^n U_i \delta_i^2} \quad (8)$$

3.2 탐색방법 (search algorithm)

(그림 4)와 같이 변수 개수에 따라서 다면체를 구성하는 형태가 달라지며, 이때 구성된 다면체의 각 정점 좌표는 식 (9)와 같은 $n \times (n+1)$ 행렬식으로 정의된다.

$$D = \begin{bmatrix} 0 & d_1 & d_2 & \dots & d_2 \\ 0 & d_2 & d_1 & \dots & d_2 \\ 0 & d_2 & d_2 & \dots & d_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & d_2 & d_2 & \dots & d_1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$d_1 = \frac{d}{n\sqrt{2}} (\sqrt{n+1} + n - 1)$$

$$d_2 = \frac{d}{n\sqrt{2}} (\sqrt{n+1} - 1)$$

n : 독립변수 개수

d : 두 정점 사이 거리

(그림 5)은 이러한 알고리즘으로 탐색이 이루어지는 것을 나타낸다.

3.2.1 1차원적 탐색법

부동 제약식만 존재할 경우로서

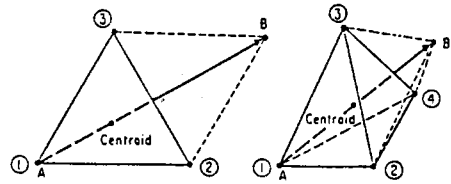


그림 4. 2,3개 변수에 대한 다면체 구성도

Fig. 4. Simplexes for independent variables

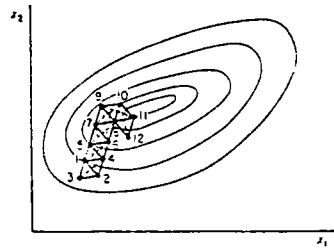


그림 5. 탐색 방법

Fig. 5. Search method

(그림 6)과 같이 경계구역에 두 점이 나. 의로 아주 근접한 경우는 두 점 사이를 연결하여 1차원적으로 해석하게 된다.

이때 사용된 알고리즘은 Fibonacci 탐색과 유사한 Golden section 방법을 사용하였다.

$$\hat{x}^* = \hat{x}(s) + \left(\frac{\beta + \sqrt{\beta^2 - 8\alpha Z_1}}{4} \right) \hat{s} \quad (10)$$

$$\alpha = Z_1 - 2Z_2 + Z_3$$

$$\beta = 3Z_1 - 4Z_2 + Z_3$$

Z_1, Z_2, Z_3 : 두 점과 그 중간에서의 부동 제약값

4. 적용 사례

본 설계 프로그램으로서 수렴정도를 $\epsilon = 10^{-2}$ 정도로 하여 최적치를 구한 결과 (표 1)과 같이 구해졌다.

본 설계 알고리즘의 타당성을 검토하기

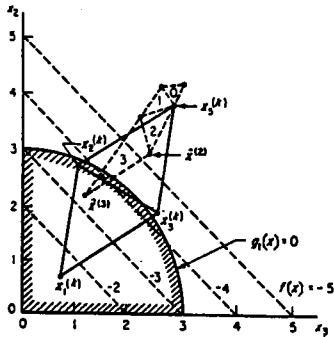


그림 6. 1차원적 탐색법

Fig. 6. One dimensional search method
 위해 기존 A, B 두가지 모터를 선정하여
 설계한 결과를 비교 검토하였다.

표 1. 설계 직류모터

Table 1. Design DC motor

구분	내 용	설계치	비교
일반자료	회전수	30 rpm	
	극수	12 극	
	전압	300 V (출력 1000 W 기준)	
	권기전압	12	
설계결과	전기자전압	219 Cm	X1
	권기자전압	68 Cm	X2
	동구극자	9.75 Cm	X3
	계자극자	36.5 Cm	X4
	계자극자	14.0 Cm	X5
	계자극자	327.5 Cm	n. D
	계자극자	5.5791 m3	F
성능비교	회전속도	2.97	3 V
	회전속도	91.7%	90%
온도상승	권기온도상승	13.5 °C	30 °C
	계자온도상승	100.0 °C	100 °C
비교	회전속도	50.2 °C	89 °C
	회전속도	50.2 °C	89 °C
비교	회전속도	1.2	
	회전속도 (gauss)	5,507	11,000
	회전속도 (gauss)	17,542	14,000
	회전속도 (gauss)	15,217	17,000
비교	회전속도 (gauss)	17,200	14,000
	회전속도 (gauss)	17,200	14,000

5. 결 론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 대형
 직류모터(2000 HP 이상)의 최소 체적화된 모
 터의 기본 치수를 결정할 수 있었으며 그
 결과는 기존 대형 직류모터와 비교하여 설계

의 타당성을 간접적으로 확인 할 수 있었다.

그리고 여기에서 사용한 온도상승 제약과
 자기적 제약을 보다 더 정밀한 방법으로 구
 해 적용하고 이렇게 될때 제약조건이 많아
 수렴이 잘 되지 않는 어려움만 해결되면 더
 욱 더 최적화된 값을 얻을 수 있을 것으로
 판단된다.

참 고 문 헌

1. WELCH, L.E. : "Design of Small D-C Machines with a Digital Computer", IEEE Winter Meeting, New York, 1963.
2. Erlicki, M.S. and Appelbaum, J. : "Optimized Parameter Analysis of an Induction Machine", IEEE Trans., PAS-84(11), P1017-1024, 1965.
3. Ramarathnam, R. and Desai, B.G. : "Optimization of Polyphase Induction Motor Design ; Nonlinear Programming Approach", IEEE Trans., PAS-90(2), P578-579, 1971.
4. Menzies, R.W. and Neal, G.W. : "Optimization Program for Large Induction Motor Design", Proc. IEE, 122(6), P643-646, 1975.
5. Perez, I.J. and Kassakian, J.G. : "Computer Aided Design of High Speed Synchronous Machines", IEEE Summer Meeting, Los Angeles, A78571-1, 1978.