

### 3상 유도전동기의 전산화 최적설계기법

\*김대희\*, 이기식\*, 황석영\*  
\*단국대학교

#### Computer Aided Optimum Design Technique for Three-Phase Induction Motors

\*Dai-Heui Kim\*, Ki-Sik Lee\*, Seuk-Yong Hwang\*  
\*Dept. of Electrical Eng. Dankook University

**Abstract** - In this paper, Computer Aided Optimum Design Technique for Three-Phase Induction Motors is proposed. In the technique, reference magnetic flux, specific electric loading factor, specific magnetic loading factor(magnetic flux density) and current density are adopted as design parameters, and minimum total cost including material cost and loss power cost is adopted as a objective function which has to satisfy output condition too.

As a result of application to the existing motor, it is proved that this technique is very effective in view of gradually increasing energy costs.

#### 1. 서 론

본 논문은 3상 유도전동기의 설계에 있어서 설계 계산조건 즉 상권선의 결선방식, 권선방식, 슬롯형상이 주어지면 전동기의 요구사양(전압, 상수, 주파수, 출력, 역률, 효율, 슬립)에 맞는 고정자 및 회전자 구조 및 형상의 치수, 공극길이를 결정하여 이를 근거로 전동기의 특성정수, 소요재료량, 동작 특성계산을하여 재료비와 전력손실비용의 합계가 최소가 되도록하는 전산화 최적설계기법을 제시하고자 한다[1][2][3][4][5].

본 기법을 기존의 기법으로 설계된 3상, 200[V], 50[Hz], 3.7[kW], 4극, 농형, 유도전동기에 적용한 결과 본 전산화 설계기법의 우수성이 입증되었다.

#### 2. 전동기 설계이론

본 설계이론은 설계변수선정, 설계목적함수 및 구속조건부과, 특성정수계산, 동작특성계산, 소요재료량 및 손실전력량계산, 목적함수 충족여부판정으로 이루어진다.

##### 2.1 설계변수 선정

전동기의 요구사양이 주어지면 이를 충족하도록 상권선의 결선방식, 권선방식, 슬롯형상을 정한후, 설계변수로 다음과 같은 변수를 취한다. 이 설계변수는 어떤 범위내에 있는 통계치이다.

(1)기준자기장하  $\phi_0$ (reference magnetic flux)

전기기기의 종류에 따라 정해지는 자기장하와 전기장하와 장하배분정수  $\gamma$ 와 주파수  $f$  및 1극당 용량  $S$ 를 써서 1극당 자속  $\phi$ 를 구하는데 이용되는 설계변수이다.  $\phi_0$ 는 고정자 권회수의 계산과 또 철심의 길이계산에도 쓰인다.

(2)비전기장하  $ac$ (specific electric loading factor)

전기자주변 단위길이당 암페어 · 도체수로서 1극당 전기장하가 주어지면 그것에서 극절을 구하여 전기자 직경을 구하는데 이용된다.

(3)전류밀도  $J_s$ (current density)

도체에 흐르는 전류가 주어지면 그것에서 도체의 단면적을 구하는데 쓰인다.

(4)자속밀도  $B$ (specific magnetic loading factor)

자로의 자속이 주어지면 그것에서 자로의 단면적을 구하는데 쓰인다. 이 계산에서 계철과 슬롯의 치수가 결정된다.

##### 2.2 설계목적함수선정 및 구속조건부과

본 설계이론에서 목적함수는 식(2.1)과 같다.

$$\text{Cost} = \min \{ (G_c \cdot m_c + G_A \cdot m_A + G_F \cdot m_F)(D + Y) + (W_c + W_F) \cdot T_Y \cdot U \cdot m_c \} \quad \text{식(2.1)}$$

여기서,

Cost : 비용목적함수 [원]

$G_c, G_A, G_F$  : 도선, 알루미늄, 철심의 양 [kg]

$m_c, m_A, m_F$  : 동, 알루미늄, 철의 단가 [원/kg]

$D$  : 년 감가 상각률 [P.U]

$Y$  : 년 이자율 [P.U]

$W_c, W_F$  : 동손, 철손 [kW]

$T_Y$  : 년 시간 [Hr]

$U$  : 기기의 년 이용률 [P.U]

$m_e$  : 전력 판매 단가 [원/kWH]

그러나 같은 출력의 전동기에서도 구조형상(직경, 길이)의 요구가 다양하므로 본 설계에서는 총비용이 최소가되는 것을 기준으로 그것보다 큰 어느 범위까지의 여러구조형상을 취하도록하여 그중에서 선정하는 것으로 하였다.

또 설계계산의 단축을 위해 계산한 출력이 사양의 출력을 기준으로 3[%]이내의 것만 취하는 구속조건을 부과하였다.

### 2.3 특성정수, 재료량 및 손실전력량계산

전동기의 구조형상이 계산되면 그것에서 소요재료량 및 손실전력량과 T형 등가회로의 특성정수를 계산한다. 특히 여자전류, 철손의 계산을 위하여 철심의 특성곡선을 컴퓨터에 입력시켰다.

### 2.4 동작특성 계산

특성정수계산결과를 이용하여 정격조건에서 전류, 출력, 손실, 효율, 토오르크를 계산한다.

## 3. 전동기의 설계계산순서

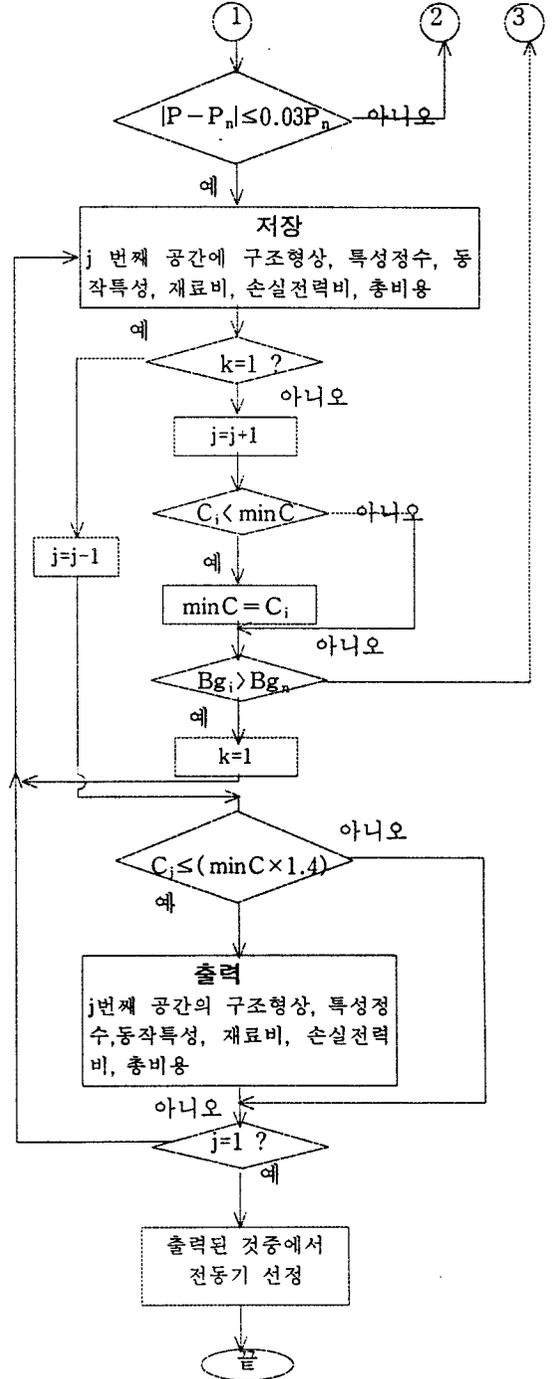
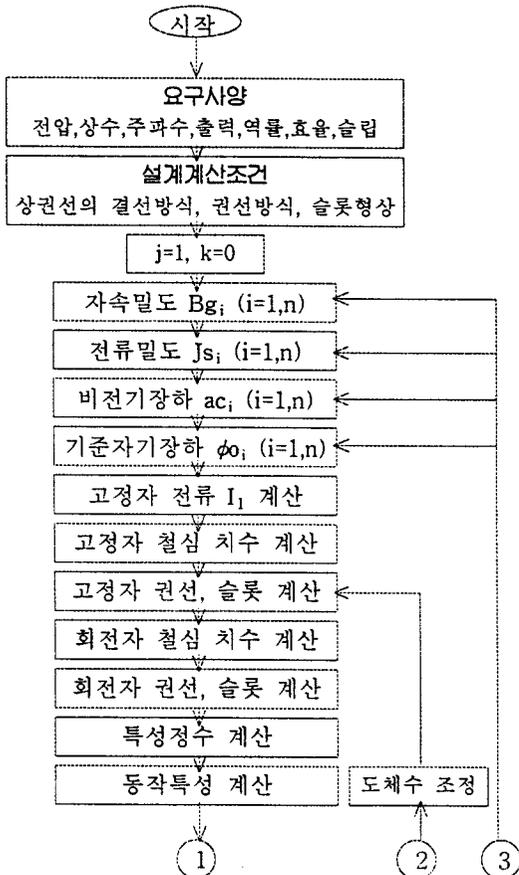


그림 2.1 전동기 설계 순서도

상기 설계이론에 따른 설계계산순서는 그림 2.1과 같다.

그림2.1에서 보는 바와같이 같이 전 설계변수의 변화에 따른 전동기의 구조형상, 특성정수, 동작특성을 계산하고 이 계산에서 구한 출력이 요구출력을 만족하지 못하면 고정자 도체수를 조정하여 만족시킨 후, 재료비, 전력손실비를 계산하여 목적함

수를 충족하는 구조,형상의 전동기의 자료만 출력시키도록 한다.

#### 4. 사례연구

기존의 기법으로 설계된 3상, 4극, 3.7[kW]에 대하여 본기법을 적용함에 있어서 전력판매단가를 변화시켜 비교한 결과는 표1과 같다. 표1은 최소비용의 것과 또 이것의 40[%]초과 범위내에 들어간 것 중에서 기설계분과 고정자외경이 거의 같은 것에서 취한것이다.

표 1

		구분	본설계	기설계
기준 재료 단가	최소 비용	외경[mm]	91	200
		길이[mm]	526	100
		출력[W]	3614	3700
		효율[%]	90.7	84.1
		출력당 재료비[원/W]	1.85	2.04
		출력당 손실전력비[원/W]	31.9	59.2
		총출력당 비용[원/W]	33.8	61.2
기준 전력 판매 단가	비슷 한 외경	외경[mm]	197	상동
		길이[mm]	191	
		출력[W]	3645	
		효율[%]	88.2	
		출력당 재료비[원/W]	3.11	
		출력당 손실전력비[원/W]	41.9	
		출력당 총비용[원/W]	45	
기준 재료 단가	최소 비용	외경[mm]	83.9	200
		길이[mm]	766	100
		출력[W]	3600	3700
		효율[%]	90.8	84.1
		출력당 재료비[원/W]	2.3	2.04
		출력당 손실전력비[원/W]	316	592
		출력당 총비용[원/W]	319	594
10배 전력 판매 단가	비슷 한 외경	외경[mm]	197	상동
		길이[mm]	191	
		출력[W]	3645	
		효율[%]	88.2	
		출력당 재료비[원/W]	3.11	
		출력당 손실전력비[원/W]	419	
		출력당 총비용[원/W]	422	

표1의 계산에서 식(2.1)의  $m_c = 3,000[\text{원/kg}]$ ,  $m_A = 2,000[\text{원/kg}]$ ,  $m_F = 1,000[\text{원/kg}]$ ,  $D=Y=0.1$ ,  $T_Y = 8760[\text{Hr}]$ ,  $U=0.6$ ,  $m_e = 60[\text{원/kWH}]$ 를 기준으로 한 것이다.

표1에서 보는바와같이 재료비와 전력비를 고려한 최소비용의 전동기는 기존설계기법에 의한 전동기보다 외경이 적고 길이가 긴 전동기이어야 함을 보이며 또한 전력비 상승을 고려하여 기준보다 10배 된다고 볼 때 전동기의 직경은 더욱 적어지고 길이는 커짐을 보인다. 따라서 기존의 설계기법은 에너지 비용을 고려하지 않는 단순히 경험에 근거한 것임을 알 수 있다.

#### 5. 결론

재료비와 전력비를 고려한 최소비용의 전동기를 설계하는 본 전산화 최적설계기법을 기존의 전동기에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본기법에 의한 전동기는 기존의 것에 비해 직경이 적고 길이가 크게된다.

(2) 이를 입증하기위하여 전력비를 기준치보다 10배로 할 때, 전동기의 직경이 더욱 적게되고, 길이가 길게됨에서 본 기법은 타당함을 알 수 있다.

(3) 상기 2항의 경우 출력당 비용이 약 절반으로 됨에서 기존의 설계기법은 에너지 비용을 고려하지 않는 단순히 경험에 근거한 것이므로 에너지 고갈로 에너지비용이 상승하고 있는 현실에서 전동기설계에 계속 적용하기는 곤란함을 알 수 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] John H. Kuhlmann 원저, 이승원 역 : "전기기계설계", 문운당
- [2] 竹内壽太郎 원저, 원종수 역 : "대학과정 전기설계학", 동일출판사, 1994
- [3] Cyril G. Veinott, "Theory and Design of Small Induction Motors", McGraw-Hill BookCompany, Inc., 1959
- [4] M. Nurdin, M. Poloujadoff, A. Faure, "Synthesis of Squirrel Cage Motors : A Key to Optimization", IEEE, pp. 327-333, 1991
- [5] 한상욱, "전기기기 설계에서 전류밀도와 자속밀도의 최적치에 관한 연구", 석사학위논문, 단국대학교, 1995