

객체지향프로그래밍 기법을 이용한 유도전동기 최적설계

論 文

48B-1-1

Design of Induction Motor Using Object-Oriented Programming

曹東赫* 金旻圭** 鄭炫教*

(Dong-Hyeok-Cho · Min-Kyu Kim · Hyun-Kyo Jung)

Abstract - Object-oriented programming is a major trend in computer software because it increases the flexibility of large scale software system. In this paper the advantages of the new software approach for optimal design of induction motor are demonstrated with an implementation of the motor design and characteristics analysis functions. And evolution strategy is used in optimization process.

Key Words : 최적설계, OOP, 유도전동기, 진화알고리즘, 합성

1. 서 론

지난 10년동안 객체지향 프로그래밍 기법은 새로운 소프트웨어 기법으로 주목받아 왔고 최근 5년동안 그 중요성이 기하급수적으로 증대되어 왔다. 일반적으로 소프트웨어 규모가 커질수록 개발비용은 디버깅부분에 편중되는데 그 상관관계는 선형적이지 않고 기하급수적인 경향을 보인다. 또한 그렇게 해서 제작된 코드는 다른 소프트웨어 개발시 쉽게 이식되거나 재활용되기 힘들었다. 이것은 프로그램의 각부분들은 상호간의 변수 사용등에 있어 의존성이 강할 뿐만 아니라 분업화된 생산구조 속에서 각자의 스타일이 다르기 때문에 판독하거나 구조를 이해하는데 있어 어려움이 크기 때문이다. 프로그래밍 과정의 한 부분에서 오류가 생길 경우 그 오류는 순식간에 프로그램의 각 부분으로 확산된다. 만약 프로그램의 크기가 작고 소수의 개발자가 작업할 경우가 아니라면 그 오류는 지극히 발견하기가 어렵게 된다. 이러한 난점의 해결을 위해 '객체화'의 개념이 소개되었는데, 이것은 현재 프로그래밍 언어의 주된 경향으로 나타나고 있다[1][2]. 그러나 유도기 설계분야에서는 아직까지 별 주목을 받지 못하였다.

본 논문에서는 먼저 객체지향 프로그래밍의 기본 개념을 소개한다. 그리고 객체지향 기법을 유도전동기의 최적설계에 도입함으로써 가지는 장단점을 해석결과와 함께 소개한다.

2. 유도전동기 최적설계에 있어서의 객체지향

이전까지 대부분의 프로그래밍언어는 절차적인 방식이었다. 프로그래밍의 각 부분은 수동적으로 종속되어있고 각 데이터는 대부분 전역적으로 관리되었다. 이에 비해 객체지향 프로그래밍은 독립적이고 동적인 작용을 하는 '객체'가 프로그램의 기본 요소가 된다. 객체지향 기법의 특징과 장점은 다음과 같다.

프로그램 구현상의 개념과 이에 따르는 실제 물체 또한 객체로 표현될 수 있다. 그리고 엔지니어들은 대부분의 오류를 유발하는 데이터 구조나 변수들의 상태에 관련된 문제에 신경을 덜 쓸 수 있으며 각각의 객체들은 상호간에 메시지(message)를 전달함으로써 프로그램을 수행한다. 객체는 독립적인 데이터와 메소드(method)를 가지는 프로그램의 조각들로서 자기 메시지를 전달함으로써 동작한다. 각각의 객체는 독립성을 가지기 때문에 다른 부분의 오류요소에 의해 침해받지 않을 수 있으며 따라서 전체 프로그램은 디버깅이 매우 쉬울 뿐 아니라 유연성을 가지고 동작할 수 있다[3]. 각각의 객체는 클래스가 만들어내는 구체적인 상이며 따라서 클래스에 의해 자신의 데이터와 작용이 결정된다. 따라서 각각의 객체는 클래스의 상속된 계층(class hierarchies)에 따라 트리구조로 나타낼 수 있고 각각의 새로운 클래스는 계층상의 특정 클래스로부터 상속을 받아 생성되므로 프로그램의 재사용성이 커지게 된다[4].

이런 장점을 가지는 반면 객체지향 프로그래밍은 추가적인 단점을 지닌다. 일반적으로 같은 알고리즘을 사용할 경우 절차적 프로그래밍 기법에 비해 객체지향 프로그래밍은 더 많은 메모리 영역을 필요로 하고, 메모리 및 함수 호출 또한 증가되는데, 이에 따라 프로그램의 수행속도는 늦어진다[4]. 또한 고가의 하드웨어적인 지원을 필요로 한다. 그러나 기억장치에 소요되는 단가는 매년 하락하고 중앙처리장치의 처리속도 또한 급격히 증가 하고 있다. 이에 비해 프로그램의 크기는 증가하고 이에 따른 프로그래머의 비용 또

* 正 會 員 : 서울大學 電氣工學部 博士課程

** 正 會 員 : 삼성전자 자동차연구소

* 正 會 員 : 서울大學 電氣工學部 副教授 · 工博

接受日字 : 1997年 7月 10日

最終完了 : 1998年 11月 30日

한 기하급수적으로 증가 하고 있다. 따라서 전체적인 비용 측면에서 어디에 주안점을 두느냐는 자명해진다.

유도기 설계분야 또한 예외 일 순 없는데 객체지향 기술은 갈수록 복잡해지고 다양해지는 유도기 최적설계에 있어 효율적 프로그래밍 방식이 될 수 있겠다. 본 논문에서 제시된 프로그램 클래스의 계층구조는 다음과 같다.

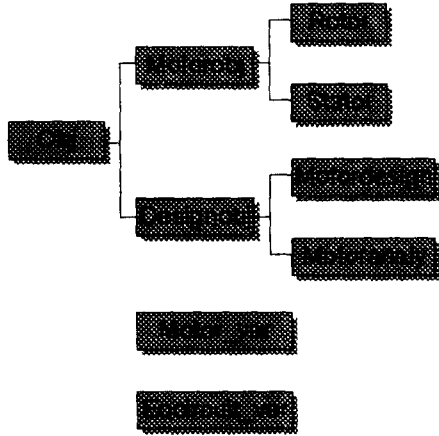


그림 1. 클래스의 계층구조
Fig. 1. Hierarchy

3. 유도전동기의 최적설계

유도전동기의 최적설계는 설계변수에 대하여 현실성 있는(feasible) 전동기를 도출하는 합성과정과 이를 이용하여 최적전동기를 찾는 최적화과정으로 구성된다. 전동기의 설계 과정은 설계 변수와 전동기 사양에 기초를 하여 이루어 지므로 현실성 있는 전동기를 도출할 수 있는 설계 변수와 설계 방법을 찾아야 한다. 특별히 어떠한 방법으로도 최적화의 기준을 고려하지 않고 설계 변수를 선택할 수 있고 선택된 설계 변수로부터 설계 방법을 찾을 수 있으면 이러한 과정을 합성(synthesis)이라고 부를 수 있다[5][6]. 최적화 과정은 비결정론적 최적화방법인 진화알고리즘을 이용하였다.

3.1 합성(SYNTHESIS)

합성은 설계 변수, 전동기 사양 등으로 구성된 집합을 기초로 하여 설계를 하기 위한 과정으로, 현실성 있는 전동기를 설계할 수 있어야 한다. 합성이라는 과정에는 설계 변수 선정과 현실성 있는 설계 방법이 포함된다.

본 논문에서는 설계 변수는 고정자 요크자속밀도, 고정자 치자속밀도, 회전자 요크자속밀도, 회전자 치자속밀도, 회전자 도체 전류밀도, 고정자 슬롯 높이, 회전자 치폭에 대한 슬롯 밀도의 비, 회전자 슬롯 밀반경에 대한 슬롯 외반경 등 8개를 선택한다. 목적함수에 대한 영향이 적은 변수들은 이차 변수로 선정하여 상수로 처리한다. 고정자·회전자의 슬롯수, 고정자 슬롯입구치수, 고정자 슬롯 점적률, 고정자 권선법, 농형 등등을 이차 변수로 선택했다. 설계 변수와 이차 변수는 목적함수에 대한 영향을 고려하여 선택하므로 목적함수로 선택되는 물리량이 변하면 설계 변수와 이차 변수로

선택되는 변수들도 달라져야 하겠다. 극수 P, 인가전압 U1, 주파수 f 등은 사양에서 고정된다.

본 논문의 합성 과정에서는 회전자를 먼저 설계하고 고정자를 설계한다. 전동기 단면과 각부의 변수명은 그림 2에 나타내었다.

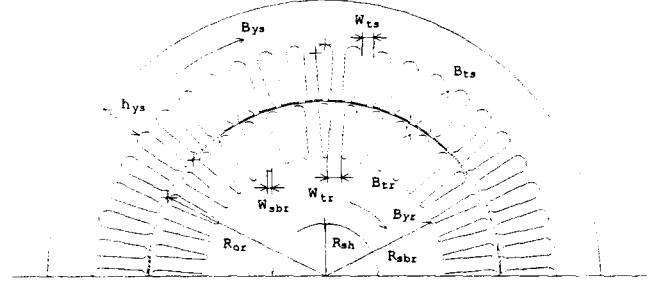


그림 2. 예제 유도전동기의 단면도

Fig. 2. Cross section of induction motor for sample design

그림 2에 나타낸 것과 같이 회전자와 고정자는 평행인치(parallel teeth)이고 슬롯은 원형 밑면(round bottom)의 형상이다. 회전자 슬롯의 형상을 결정하는 중요한 비율 중에 하나는 슬롯 밀폭과 치폭과의 비가 된다.

$$r_{sbr} = \frac{w_{sbr}}{w_{tr}} \quad (1)$$

r_{sbr} 이 '영'이 되면 회전자 슬롯의 형상은 부채꼴이 된다. 회전자 설계에 필요한 반경은 다음 식에서 얻을 수 있다. 회전자 외반경 R_{or} 과 회전자 슬롯 밑까지의 반경 r_{sbr} 의 비율을 r_{obs} 라 하면 식 (2)가 된다.

$$r_{obs} = \frac{R_{or}}{R_{sbr}} \quad (2)$$

회전자 슬롯 밑까지의 반경 R_{sbr} 은 이차측 자기회로에서 도출할 수 있고, 다음과 같이 표현된다.

$$R_{sbr} = \frac{R_{sh}}{1 - \frac{\pi B_{tr}}{B_{yr} (1 + r_{sbr}) q \cdot \sin \frac{P\pi}{2q}}} \quad (3)$$

여기서

- R_{sh} : 축반경
- B_{tr} : 회전자 치자속 밀도
- B_{yr} : 회전자 요크자속밀도
- P : 극수
- q : 회전자 슬롯수

축반경 R_{sh} 는 일반적으로 규격을 참고하여 결정한다. r_{sbr} , r_{obs} , B_{tr} 및 B_{yr} 가 설계 변수로 선택되었으므로 회전자 설계에 필요한 반경 R_{sbr} 과 R_{or} 은 식 (2)와 (3)을 이용하여 구할 수 있다. 그리고 회전자 치폭과 슬롯 밀폭은 다음 식에서 구할 수 있다.

$$w_{tr} = \frac{2\pi R_{sbr}}{q(1 + r_{sbr})} \quad (4)$$

$$w_{sbr} = r_{sbr} w_{tr} \quad (5)$$

축방향 길이, 정격슬립, 회전자 도체 전류밀도, 엔드링 전류밀도가 결정해야 할 변수로 남아 있는데 엔드링 전류밀도

는 회전자 도체 전류밀도에 대한 비율로 나타내고 회전자 도체 전류밀도 δ_{bar} 가 설계변수로 선정되었으므로 축방향 길이 L_s 와 정격슬립 s_n 만이 남게 된다. 이 변수들은 이차측 도체들간의 회로 방정식에서 다음식 (6), (7)과 같이 구할 수 있다[5].

$$L_s = \frac{P_o + 2 q R_{er} I_{erk}^2}{I_{erk} q \left(\frac{\omega}{\sqrt{2}} w_{tr} B_{tr} - 4 R_{bar} \sin^2 \frac{P\pi}{2q} I_{erk} \right)} \quad (6)$$

$$s_n = \frac{\sqrt{2} (2R_{er} + 4R_{bar} L_s \sin^2 \frac{P\pi}{2q}) I_{erk}}{\omega w_{tr} B_{tr} L_s} \quad (7)$$

여기서

- P_o : 정격출력
- R_{er} : 엔드링 저항
- I_{erk} : k번째 루프의 엔드링 전류
- R_{bar} : 회전자 도체의 단위길이당 저항

회전자측의 설계가 완료되면 회전자 설계 결과와 설계 변수를 이용하여 고정자를 설계한다. 일반적으로 공극과 슬롯 개폐부 치수는 기계적인 성질을 고려하여 정하게 되는데, 슬롯 개폐부는 권선이 가능하고, 기계적인 손상이 없을 정도의 치수로 선정하는 것이 일반적이므로 알맞은 값을 취하여 상수로 한다. 먼저 고려해야 할 사항은 고정자 치자속 밀도인데, 이것은 회전자 치자속 밀도의 함수로 표현할 수 있으며 식(8)과 같이 나타내어진다.

$$B_{is} = k_{sr} B_{tr}, \text{ 여기서 } (0 \leq k_{sr} \leq 1) \quad (8)$$

고정자 요크의 높이 h_{ys} 는 고정자 요크자속밀도 B_{ys} 로부터 식(9)와 같이 구할 수 있고, 고정자 치폭 w_{is} 는 고정자 치자속 밀도 B_{is} 로부터 식(10)에서 구할 수 있다.

$$h_{ys} = \frac{\phi}{2B_{is}L_sP_mN_{epk}k_s} \quad (9)$$

$$w_{is} = \frac{\phi_2}{B_{is}L_sP_mN_{epk}k_s} \quad (10)$$

여기서,

- k_s : 철심 적층 점적률
- m : 상수(phase number)
- ϕ : 극당 자속
- ϕ_2 : 총자속
- N_{epk} : 극당 상당 슬롯당 도체수

그림 3.은 본 논문에서 사용한 합성의 흐름도이다. 초기화 이후 회전자, 고정자의 전체치수를 도출한 후 특성 계산을 한다. 제한조건을 만족시키기 위하여 특성계산 후 흐름도내의 루프를 이용하여 직렬권회수 N_s 를 조절한다[7][8]. 설계된 전동기의 특성계산을 위하여 T등가회로를 사용한다 [9][10].

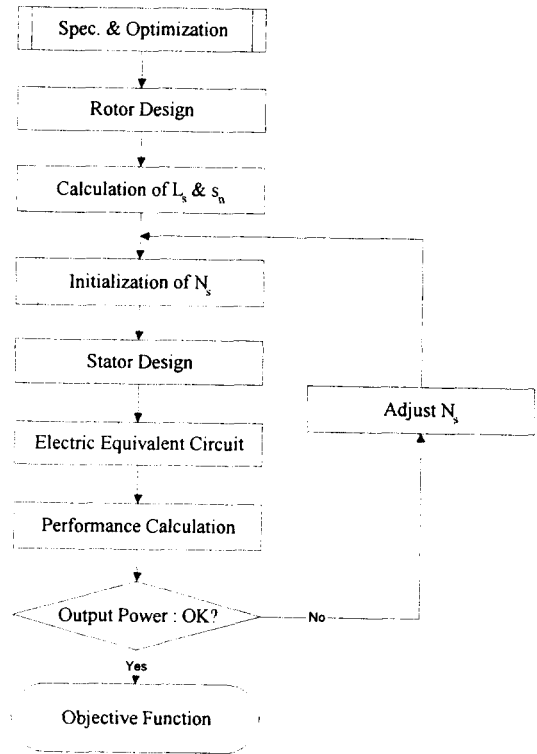


그림3. 합성(Synthesis) 흐름도
Fig. 3. Flow chart of the synthesis

목적함수는 효율과 출력밀도를 선택하였고 각각의 목적함수를 같은 비중을 갖도록 적절한 가중치 w_1, w_2 를 곱한 후 그 합으로 구하였다. 각각의 목적함수는 식(11), (12)과 같으며 최적화에 사용한 목적함수는 식(13)와 같다. 식(11)에서 전체 손실은 철손과 동손 기계손을 포함하며 기계손은 상수로 처리하였고 식(12)에서 전체 중량은 고정자철심과 권선 회전자철심과 도체 그리고 축의 중량으로 구성된다.

$$Z_1 = \text{효율} = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{전체손실}} \quad (11)$$

$$Z_2 = \text{출력밀도} = \frac{\text{출력}}{\text{전체중량}} \quad (12)$$

$$\text{Objective fn.} = Z_1w_1 + Z_2w_2 \quad (13)$$

3.2 (1+1)진화 알고리즘

최적해를 찾기위해선 전역(global) 최적점을 찾을 수 있는 최적화 알고리즘이 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 최적화 알고리즘으로 (1+1)진화 알고리즘을 사용하였다. 진화 알고리즘은 재생산(reproduction), 선택(selection), 적응(annealing)의 세가지 과정으로 이루어져 있다. 첫째로 재생산은 부모개체를 기본으로 유전적 구속범위내에서 변이를 일으키는 과정이다. 재생산을 통하여 발생된 자식개체의 목적함수와 부모개체의 목적함수를 비교하여 우수한 개체를 다음 세대의 부모개체로 선택하는 선택 과정은 자연계의 적

자 선택의 원리를 모사한 것이다. 마지막으로 변화된 주위 환경에 적응하는 과정은 금속의 재련과정중 풀림과정을 모사한 부분이다. 주위환경이 변화하면 보다 큰 변이폭을 갖게 되고 적응해 나가는 정도에 따라 변이폭이 변하며 안정된 상태에 접근할수록 좁은 변이폭을 갖게 된다. 진화 알고리즘은 절대 최적값을 찾아 갈 수 있고, 빠른 수렴 특성을 나타낸다[11].

진화알고리즘은 초기 변수와 초기 목적함수값이 결정되면 자식세대의 발생을 위하여 재생산과정을 수행한다. 이때 초기 변수를 정해진 변이폭내에서 변화시켜 새로운 변수를 발생하게 되는데 변이폭은 초기의 정해진 변이폭과 α 의 곱으로 나타나게 된다. 여기서 α 는 초기에는 1의 값을 갖게 되고 목적함수의 개선 회수가 목적함수 계산 회수의 20[%] 이상이면 0.85를 나누어 증가시키고 그렇지 않으면 0.85를 곱해 준다. 이는 현 상태가 최적점 근처에서 수렴하고 있으면 세밀한 변화를 위하여 변이폭을 감소시켜야 하고 그렇지 않으면 보다 많은 가능성을 찾아야 하기 때문에 변이폭을 늘려야 한다. 이러한 과정을 통하여 발생된 자식개체에 대하여 목적함수를 계산한 후 부모개체의 목적함수와 비교하여 자연선택에 의한 보다 우수한 개체를 다음 세대의 부모개체로 선택한다. 여기서도 자연의 적자 선택의 원리가 적용되어 다음 세대의 부모개체는 보다 우수한 개체로 치환된다. 이러한 재생산, 선택, 적응의 반복적인 과정을 통하여 목적함수를 최대로 하는 변수값을 찾을 수 있다. 위의 알고리즘을 구현하기 위한 과정은 다음과 같다.

여기서 X_p, X_c 는 부모세대, 자식세대의 변수 벡터이고 F_p, F_c 는 X_p, X_c 의 목적함수이다.

- step1. (초기화) : 초기 변수를 기본으로 하는 우수한 개체를 선택
전체 유전적 범위내에서 재생산의 과정을 통하여 일정수의 임의의 개체들을 발생
발생 개체중 선택의 과정을 통하여 우수한 개체를 초기 세대로 선택

step2. (재생산) : 자식세대의 발생

$$X_{ci} = X_{pi} + \alpha_i R_i$$

- α_i : X_{pi} 를 중심으로 한 변이가능폭
- R_i : 평균이 0이고 [-1,1]에서 균등분포를 갖는 확률 밀도 함수

step3. (선택) : 자연선택의 원리에 의하여 우수한 개체 선택

$$X_p = X_c \text{ if } F_c > F_p \text{ 개선회수} \uparrow \text{증가}$$

$$= X_p, \text{ otherwise}$$

step4. (annealing) : 변이폭 조절

$$\alpha = \frac{\alpha}{0.85}, \text{ if 개선회수} > \text{총계산회수} \times 0.2$$

$$\alpha = \alpha \times 0.85, \text{ otherwise}$$

step5. (종료) : 요구하는 해에 대하여 조건을 만족하면 종료한다.
아니면 step2로 되돌아 간다.

4. 결과

위에서 제시한 특성 해석 방법에 의한 해석 결과와 실험 결과를 비교하여 제시한다. 제시한 특성 해석 방법을 적용할 해석 모델로 3상, 4극, 180[V], 15마력 유도전동기를 사용하였고 슬립의 변화에 따른 고정자 전류의 변화와 역률의 변화를 비교하였고 유도전동기의 사양을 표 1.에 나타내었다. 그림 4.는 슬립의 변화에 대한 고정자 전류의 변화를 나타내고, 그림 5.는 슬립의 변화에 대한 역률의 변화를 나타낸다. 그림 4.와 그림 5.를 보면 해석에 의한 결과가 오차 5[%]이내에서 실험 결과와 잘 맞는 것을 알 수 있다.

표 1. 해석할 유도전동기의 사양
Table 1. Details of analysis model

정격 출력	15 [Hp]	극수	4극
주파수	60 [Hz]	인가전압	180 [V]
코아타입	H23	코아두께	0.35 [mm]
공극	0.45 [mm]	권선피치	12
병렬회로수	4	결선방식	Delta
회전자 도체 도전율	50 [%]	엔드링 도전율	50 [%]
회전자 슬롯수	40	고정자 슬롯수	48

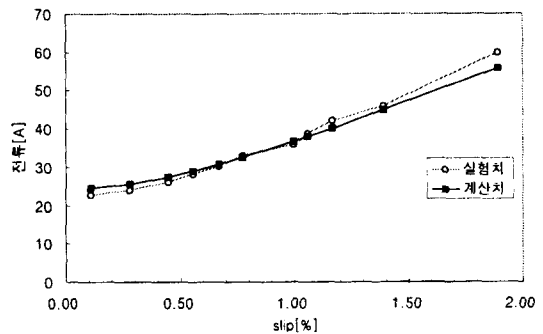


그림4. 슬립의 변화에 따른 고정자 전류의 변화
Fig. 4. Variation of stator current against slip

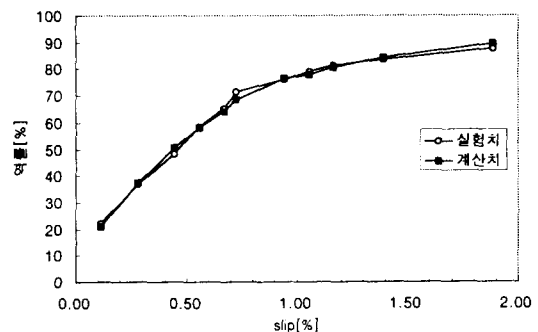


그림5. 슬립의 변화에 따른 역률의 변화
Fig. 5. Variation of power factor against slip.

그림6은 최적화 알고리즘이 진행되는 동안 다중목적함수의 추이를 나타낸 것이다. 그림 7. (a), (b)에서 초기전동기의 단면과 수렴후 최적화 전동기의 단면을 비교하였다. 초기전동기의 경우 정격슬립은 1.95[%]이고 최적 전동기의 정격슬립은 1.42[%]이다.

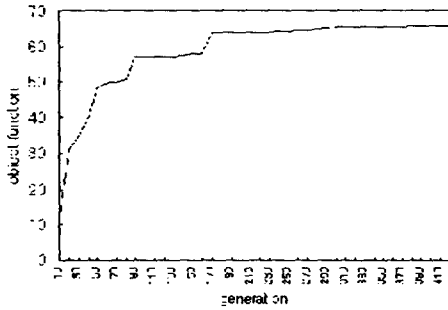
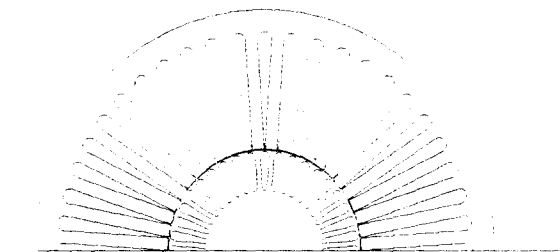
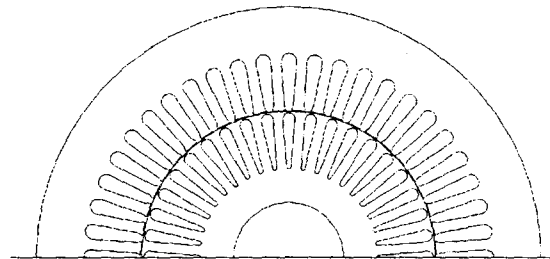


그림6. 세대수에 대한 목적함수 변화
Fig. 6. Optimization procedure



외경: 318.1[mm] 축방향 길이 : 89.9[mm]
(a) 초기전동기
Out diameter : 318.1[mm] Ls : 89.9[mm]
(a) Initial model



외경: 248.6[mm] 축방향 길이 : 128.9[mm]
(a) 최적화 전동기
Out diameter : 248.6[mm] Ls : 128.9[mm]
(b) Optimal model

그림7. 초기전동기와 최적화 전동기의 단면도
Fig. 7. Cross sections of initial model and optimized model

최적화 수행 전후의 결과는 그림 8에서 나타내는 것과 같이 출력밀도는 0.215 [kg / kW] 에서 0.316 [kg/kW]로

증가하였고 효율은 84[%]에서 90.5[%]로 상승하였다.

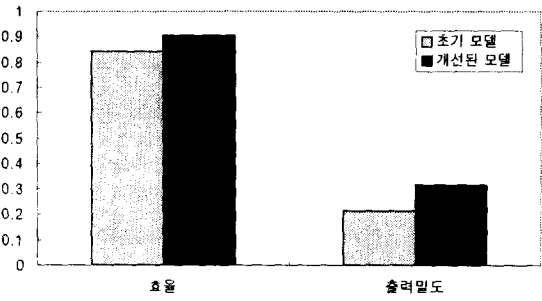


그림8. 초기모델과 최적화 모델의 효율,출력밀도 비교
Fig. 8. Comparison of the efficiency and the power density of initial and optimized model

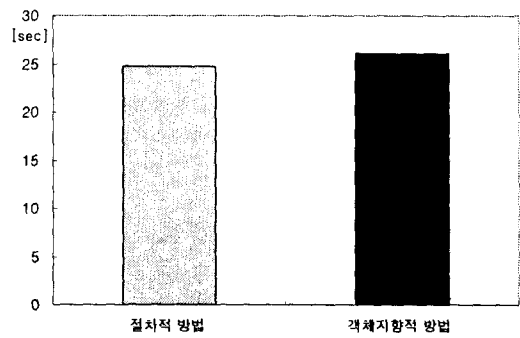


그림9. 절차적 프로그래밍과 객체지향프로그래밍의 수행시간 비교

Fig. 9. Comparison of convergence time between object-oriented program and procedural program

그림 9.는 객체지향 프로그래밍에 있어서 단점인 수행시간문제에 대하여 각각을 절차적 프로그래밍(그래프1)과 객체지향 프로그래밍(그래프2)으로 나누어 코딩한 후 비교한 표이다. 표에서 알 수 있듯이 수행시간에 있어 차이는 5%미만이다. 이것은 객체지향 프로그래밍 기법이 유도기 설계분야에 적용되었을 때 속도가 느려지는 단점은 어느 정도 무시할 수 있다는 것을 의미한다. 반대로 객체지향기법이 지닌 유지보수성과 재사용성, 디버깅의 편리함 등은 설계 프로그램이 대형화 할 수록 장점을 발휘할 수 있다.

5. 결론

객체지향 프로그래밍 기법을 유도전동기 최적설계에 적용시켜 보았다. 최적설계에 사용한 해석방법을 실험치와의 비교로 검증하였으며 객체지향기법이 수행시간에 있어 큰 손실없이 유도전동기 설계에 적용될 수 있음을 절차적 방법과 객체지향기법을 통한 프로그램간의 비교로 증명하였다. 그리고 최종적으로 객체지향 프로그래밍 기법을 사용하여 주어진 전동기를 효율과 출력밀도면에서 개선한 전동기를 성공적으로 설계할 수 있었다.

객체지향 기법은 새로운 부분의 추가와 수정이 용이해 아

주 유연한 특성을 가지고 있다. 작성된 클래스는 이후 재사용될 수 있으며 유지보수측면에서 강점을 가지고 있다. 이후 유도전동기 뿐만 아니라 동기기 등으로 설계가 확장될 경우에도 기존의 클래스를 그대로 사용할 수 있으며 회전자 클래스등 일부 클래스만의 수정으로 확장이 가능하다.

본 연구는 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] A.A.RADENSKI, Object-Oriented Programming and Parallelism: Introduction, Information Science 93,pp.1-7,1996[1] A. Ghosh, S. Devadas, K. Keutzer and J. White, "Estimation of Average Switching Activity in Combinational and Sequential Circuits," ACM/IEEE Design Automation Conf., pp. 253-259, 1992.
- [2] Andreas F.Neyer,Felix F. Wu, Karl Imhof, Object-Oriented Programming for flexible software: Example of a Load flow, IEEE Trans. On Power Systems, VOL.5, NO.3, pp.689-696, 1990.
- [3] Thomas Zimmermann, Yves Dubois-Pelerin, Patricia Bomme, Object-oriented finite element programming: I. Governing Principles, Computer Method in Applied Mechanics and Engineering 98,pp.291-303, 1992.
- [4] Yves Dubois-Pelerin, Thomas Zimmermann, Object-oriented finite element programming: III. An efficient implementation in C++, Computer Method in Applied Mechanics and Engineering 108,pp.165-183, 1993.
- [5] M. Nurdin, M. Poloujadoff and faure, Synthesis of Squirrel Cage Motors : A Key to Optimization, IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 6, No. 2, pp. 327-335, 1991.
- [6] M. Poloujadoff and Z. Amine Es-Sbai, "A State Variables Method for the Optimization of Electrical Machines. Application to the Acceleration of an Inertia", Journal De PhysiqueIII, pp 531-541, 1994
- [7] 김민규, 전기자동차 구동용 3상 유도전동기의 다중목적 최적설계, 공학석사학위논문, 서울대학교, 1997.
- [8] 김민규, 이철균, 박정태, 정현교, 한송엽, Univariant Search Method를 이용한 3상유도전동기의 다중목적 최적설계, 대한전기학회 논문지 제46권 5호, pp. 669-675, 1997년 5월
- [9] Kuhlmann, Design of Electrical Apparatus, John Wiley & Sons, 1950.
- [10] Cyril G. Veinott, Theory and Design of small Induction Motor, Mc GrawHill Book Company, 1959.

저 자 소 개



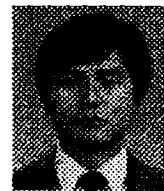
조 동 혁(曹東赫)

1973년 3월 27일 생. 1995년 서울대 전기공학부 졸업 1997년 동 대학원 졸업.(공학석) 1997년~현재 동 대학원 박사과정



김 민 규(金旻圭)

1971년 3월 7일 생. 1994년 중앙대 전기공학과 졸업 1997년 동 대학원 졸업.(공학석) 1997년~현재 삼성전자 연구원



정 현 교(鄭炫敎)

1955년 8월 17일 생 1979. 3 - 1981. 2 서울 대학교 대학원 전기공학과 (공학석사) 1981. 3 - 1984. 8 서울 대학교 대학원 전기공학과 (공학박사) 1994. 3 - 현재 서울 대학교 공과대학 부교수