

전기 모터설계에의 AutoLISP 응용

오 철수 공 정식
 경북대학교 전기공학과

Application of AutoLISP to Electric Motor design

Chul-Soo Oh Jeong-sik Kong
 Dept. of Electric Eng. Kyung Pook Nat. Univ.

(Abstract)

The effect of each tooth for optimal design of Hybrid permanent magnet step motor is presented on this paper. For this consideration, Hybrid permanent magnet step motor was designed in the first consideration tooth structure on the stator and the rotor and poles structure, as number of teeth on the stator and the rotor and slot depth and pitch of teeth, simulated by AutoLISP.

During actual rotating, a characteristic of Hybrid permanent magnet step motor which designed by AutoLISP program is considered. A characteristic of Hybrid permanent magnet step motor is considered in change each variable, also.

As a result, it was found that characteristic of Hybrid permanent magnet step motor changed in accordance with tooth structure and number of teeth and optimal design is possible by AutoLISP.

1. 서론

최근 모든 산업분야에서 전기모터의 사용이 점차 증대되고 있는 실정이며, 이와 동시에 모터의 특성해석 및 효율개선과 관계되어진 연구들이 활발히 진행되고 있다. 전기모터의 개발에 있어서, 그 시작은 모터를 설계하고 설계된 모터의 특성을 해석하는 것으로부터 시작된다. 과거의 전기모터 설계방법은 현장에서 실무자들의 경험에 의존하는 바, 체계적인 설계 및 개발이 이루어질 수 없었다. 그러나, 현재에 이르러 전기모터의 특성해석에 컴퓨터를 이용한 여러가지 해석방법이 등장하게 되었다. 전기모터의 해석에 컴퓨터를 이용하게 되면서 시간과 경제적인 측면에서 많은 이득을 가져왔으며, 보다 정확한 해석이 가능하게 되었다.

현재는 전기모터의 설계에도 컴퓨터가 이용되며, 그 대표적 예로 CAD 기법이 있다. 이러한 CAD 기법들 모터의 설계분야에 이용하게 되면서 정확하고 빠른 설계가 이루어졌으며, CAD/CAM 을 이용하여 그 생산과정을

추정하고 있다.

그러나, 현재 이용되고 있는 CAD 기법만으로는 도면작성은 가능하지만, 도면과 관련된 계산은 거의 되지 않고 있기 때문에 CAD 기법에 어떤 다른 계산을 첨가하는 것이 불가능한 실정이다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 AutoCAD ADE-3 패키지에 따르는 LISP언어의 하나인 AutoLISP을 사용하여 모터의 설계와 그에 따르는 계산을 병행하여 보고자 한다.

이를 위해 현재 전반적으로 산업분야에서 그 사용이 증대되고 있는 스텝모터(Step Motor)에 적용하여 그 실용도를 살펴보고자 한다.

2. Hybride PM 스텝모터

2.1 Hybride PM 스텝 모터의 특성

본 논문에서는 VR 스텝모터와 PM 스텝모터의 혼합형인 Hybrid PM 스텝모터를 AutoLISP의 적용모델로 이용하여 보았다.

스텝모터는 일반적인 모터와 달리, 토크의 생성 때 카니즘으로 볼때, 가장 중요한 특성은 치아형태 및 배열에 있다. 대부분의 다른 회전기계 또는 선형기계에서는 치아 부분이 토크발생에 기여하는 것이 아니라, 회전자와 고정자 사이의 공극을 최소화하고 권선을 감을수 있는 충분한 공간의 설계가 중요한 요소가 되어진다.

그러나, 스텝모터에서는 회전자와 고정자의 두 치아가 근본적으로 토크생성에 기여하게 되고, 나아가서 회전자와 고정자의 형태 및 배열 상태가 주어지면 각 회전각도에 따른 두 치아사이의 토크상태를 규명하는 것이 중요하다.

본 논문에 응용한 스텝모터는 소형, 2상 구동, 고정자 치아수 48개, 회전자 치아수 50개인 8극형이다. 특히 치아폭/pitch폭 비의 값은 토크형성에 큰 영향을 미치기 때문에 이 값을 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 로 변화시켜 가면서 해석하여 보았다.

2.2 치아구조에 따른 Permeance 모델

치아구조에 따른 자계의 형태를 고찰할때 나타나는 자계현상은 거의 비선형적인 포화 현상을 포함하고 있

다. 따라서 스텝모터의 Permeance 모델을 설정하고 Reluctance를 계산함에 있어서 많은 어려움이 있다. 이러한 점 때문에 스텝모터의 설계에 이용할 수 있는 간편한 수학적인 모델이 필요하게 되었다. 하나의 치아에 해당하는 Permeance 공식은 식 (1) 과 같다.

$$P = \mu_0 f \frac{dA}{l} \quad (1)$$

dA 는 자속 통로의 단면적
 l = 자속 통로의 길이
 μ_0 = 공기의 투자율 ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

본 논문에서는 permeance 계산을 위해 자속의 통로를 radial 방향으로만 존재한다고 설정하여 식 (1) 의 permeance 공식을 적용하였다.

3. AutoLISP

3.1 AutoLISP의 개요

LISP은 LIST Processing의 약어로서 기호 데이터(Symbolic data) 처리면에서 많은 장점을 가진 프로그래밍 언어로서, 인공지능(AI) 개발자들 사이에서 널리 사용되고 있다.

AutoLISP은 Common LISP 의 파생 언어로서 많은 그래픽 처리 함수를 내장하고 있으며, AutoCAD 기능을 보강하여 도면작성 뿐만 아니라 계산을 결합할 수 있도록 Auto Desk사가 개발한 것이다.

AutoCAD 는 일반적으로 입력장치인 Keyboard와 Digitizer를 이용하여 도면을 작성하나, AutoLISP 을 사용하면 도면 프로그램에 데이터베이스를 내장함으로써, 입력장치 대신 프로그램으로 도면 작성 및 필요한 계산을 할 수 있도록 되어 있다.

따라서 도면의 변경은 입력 장치를 이용하지 않고, 프로그램을 변경함으로써 가능하여지고, 도면의 생성 및 수정, 보관 등이 아주 용이하게 이루어져 CAD 작업을 한차원 높이게 한다.

3.2 Auto LISP의 특성 및 구성

일반적으로 LISP 은 3개의 구성요소 즉, Atom (list구성요소의 최소 단위), list 및 함수만으로 구성되어 있고 Fortran 이나 C 언어처럼 계산능력도 포함하고 있다.

일반 다른 언어와 달리 AutoLISP은 함수라는 독특한 계계를 갖추고 있기 때문에 프로그램작성을 손쉽게 할 수 있고, 평가(evaluate) 함수 있는 장점이 있다. 또한 이렇게 작성된 도면은 CAD를 기초로 하기 때문에 CAD 상에서 쉽게 받아들일 수 있고, 프로그램에 의해 작성된 도면을 모니터상에서 관측 할 수도 있다.

4. 프로그램 작성 및 결과

4.1 모터의 부분별 Subprogram 작성

본 논문에서는 Hybrid PM 스텝모터의 기능면에서 극형태, 고정자 치아 부위, 회전자 치아부위로 세분화할 수 있고, 각부위를 독립 프로그램으로 작성하여 각 부위별로 도면화 할 수 있도록 하였으며, 이의 결합도 가능하도록 하여 아래의 세가지 Subprogram 으로 작성하였다.

4.1.1 극의 형상 설계

Hybrid PM 스텝모터의 형상에서 극은 상수를 결정하는 요소이고 회전속도를 결정하는 요소이므로 독립적으로 분리하여 설계하였고 극수를 변수로하여 설계하였으며, Subprogram (defun pole()) 로 정의하였다.

4.1.2 고정자 치아의 설계

고정자 치아 형태는 Permeance 와 Reluctance 를 결정하는 요소가 되기 때문에, 이에 따른 회전자 치아와의 조합상태를 관측하기 위하여 치아쪽/슬롯쪽의 비율 변화시킬수 있도록 하였으며 이것은 Subprogram (defun tooth()) 로 정의하였다.

4.1.3 회전자 치아의 설계

Hybrid PM 스텝모터에서 회전자의 치아쪽은 고정자와 일치하여야 하기때문에 이 값은 함수(tooth) 상의 toothW 값을 받아들일게 된다. 그외의 값을 즉, 전체 치아수, 치아쪽/슬롯쪽 비 등은 독립적인 Subprogram (defun rotor ()) 로 정의하였다.

4.2 주 프로그램

위 세가지의 Subprogram 의 결합을 다음과 같이 이루어 지도록 하였다. 한국에 해당하는 Subprogram tooth() 가 수행되어 질때 프로그램에 의해서 고정자 치아가 작성되고, 이어서 함수 pole()을 부 프로그램으로 불러서 한국에 해당하는 극 부위를 작성하고, 다음극에 해당하는 고정자치아와 극부위를 작성하고자 Loop 를 돌린다. 극과 고정자 치아를 작성하고 난 다음 마지막으로 함수 rotor() 를 실행하여 회전자 부위를 일괄적으로 도면화 하도록 하였다. 이 프로그램에서는 Subprogram 의 활용면으로 보아 Subprogram tooth() 가 주 프로그램과 같이 사용되어 졌다. 이에 따른 Flow chart 는 그림 1과 같다.

4.3 변수의 설정

본 프로그램을 구성하기 위하여 사용한 프로그램의 변수중 모터의 설계에 중대한 영향을 미치는 변수에 대하여 살펴보고자 한다.

tooth() 함수 :

이함수에서는 주로 설계할 모터의 계원을 설정한다.

- | | |
|------------------------|------|
| 1) 스텝모터의 외경(rad0) | 35.0 |
| 2) 고정자 치아의 내측 반경(rad3) | 17.5 |

- 3) 회전자 치아의 반경(rad4) 17.2
- 4) 극수(num) 8극
- 5) 전체들레에 환산한 치아수(toothN) 48개
- 6) 치아폭의 절경(toothW) 0.2, 0.4, 0.6, 0.8
- 7) 최초 극의 시작점(start) 0도 방향

pole() 함수 :

여기서는 대부분의 변수를 tooth() 함수에서 이원하여 사용하고 필요한 변수는 계산하여서 사용하고 있다.

rotor() 함수 :

- 1) 회전자 치아수 (toothnum) 50 개
- 2) 회전자 치아폭 (rtang) --- 고정자의 치아폭에 따름
- 3) 회전자 슬롯폭 (rslotang) --- 회전자 치아폭에 따름
- 4) 회전각도의 절경 (rstep) 1.8도
- 5) 최초치아의 시작점 (startang) 0도 방향

이상과 같은 모터의 변수를 사용하였고, 다른 변수는 이 미설정된 변수에 따라서 계산하여 결정되도록 하였다.

4.4 도면의 작성

4.4.1 전체 단면

앞서 설명한 프로그램을 이용하여 실제의 스텝 모터의 형태를 설계하여 보았다. 그림 3은 회전자 치아수 50개, 고정자 치아수(전체로 환산) 48개 그리고 8극의 스텝모터의 형상을 나타내고 있다. 이때의 치아폭/피치 폭비는 0.4를 적용하였다.

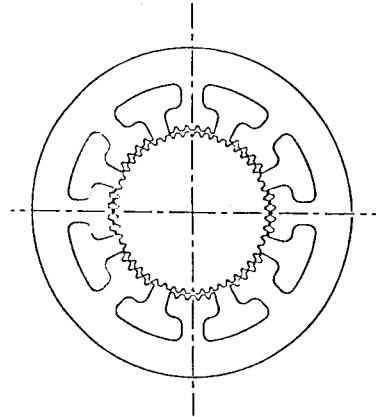


그림 3 설계된 스텝모터의 전체형상

(회전자 치아수 50, 고정자 치아수 48, 치아/피치비 0.4)

4.4.2 Increment 상태에서의 도면

그림 4는 그림 3과 같이 설계된 형태를 AutoLISP 프로그램을 사용하여 일정한 각 만큼 증가 시켰을때의 치아의 배열상태를 보여주고 있다. 이 그림은 스텝각에 따라 회전할 수 있도록 설계와 같이 회전자 형태의 Slide 볼 만들어 회전시키며 각 스텝마다 치아의 배열 상태를 교환할 수 있도록 나타내었다.(전체 모터 형태의 1/4 단면의 상세도)

이 그림에서는 한 스텝씩 회전하는 모습을 보여 주고 있는데 회전방향은 화살표와 같다.

그림 4(a)는 기준이 되는 점, 즉 모터가 움직이지 않은 첫번째 점에서의 상태를 나타내고 있으며 그림 4(b)는 1 스텝만큼 회전하였을 때의 고정자 치아와 회전자 치아의 배열 상태를 나타내고 있다. 그림 4(c) 2 스텝회전하였을 때의 치아 배열상태를 보여주고 있다. 그림 4(d)는 3 스텝 회전하였을 때이고 그 다음 스텝은 a)와 같아짐을 알수 있겠다.

이 그림에서 알수 있듯이 2상 8극 회전자 치아수 50개인 스텝모터의 스텝각은 1.8도임을 알수 있다.

4.4.3 치아폭의 변화에 따른 도면

치아폭/슬롯폭(수치는 치아폭/pitch폭의 비를 나타내고 있음)의 비를 아래와 같이 변경하였을 때의 각 경우에 대한 모터의 형태를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)는 치아폭/피치폭비가 0.2 일때의 고정자 치아와 회전자 치아의 배열 상태를 나타내고 있으며, 그림 5(b)

* 프로그램 (tooth ())

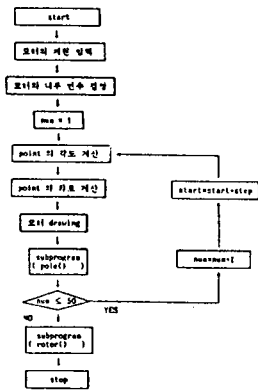


그림 1. 주프로그램의 Flow chart.

* 프로그램 (rotor ())

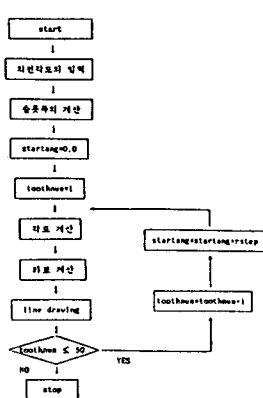


그림 2. 부프로그램의 Flow chart.

는 치아폭/피치폭비가 0.4 일때의 치아의 배열 상태를 나타내고 있다. 그리고 그림 5(c)는 치아폭/피치폭비가 0.6일때의 치아 배열 상태를 나타내고 있으며, 그림 5(d)는 치아폭/피치폭비가 0.8인 극단적인 경우에 대하여 나타내었다.

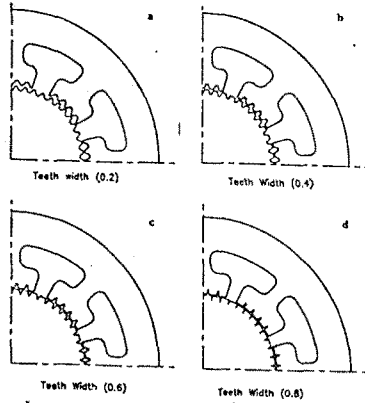


그림 4. Increment 도면

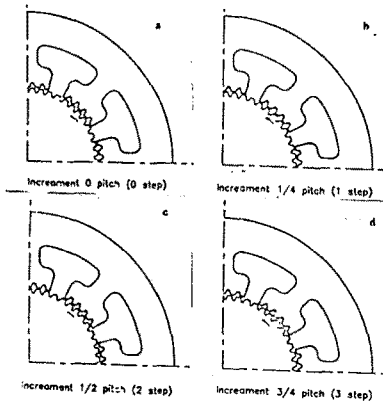


그림 5 치아/피치폭비 변화시켰을 때의 치아 배열상태

5. 치아사이의 permeance 계산

치아사이의 permeance 를 계산하기 위하여 식 (1)로 나타나는 permeance 공식을 이용하였다. 각 step 별 permeance 를 계산하고 또한 치아의 폭을 변화시켰을 때의 하나의 치아에 해당하는 공극의 Permeance 를 계산하여 보았다.

본 계산에 이용된 permeance 계산식은 식 (2)로 나타나 있다.

$$dp = \frac{1}{\mu_0} \frac{dA}{l} = \frac{1}{\mu_0} \frac{t \cdot dx}{l} \quad (2)$$

$$T = \frac{dW_m(\theta)}{d\theta_m} \quad (3)$$

$$W_m(\theta) = \int F d\Phi = \frac{1}{2} F^2 P(\theta) \quad (4)$$

$$T = \frac{1}{2} \sum F^2 \frac{dP(\theta)}{d\theta_m} \quad (5)$$

본 논문에서는 치아의 위치에 따라 Permeance 를 계산함에 있어서 그들이 공극사이에서 직선으로만 구성된다고 가정을 하였다. 물론 이것은 오차를 포함하고 있지만, 새로운 모델을 만드려고 하는 것이 아니라 AutoLISP 이 어떻게 적용될 수 있는가를 시험해 보았다. 여기서는 dx 를 일정한 크기로 정하여 위치 x가 증가함에 따른 l의 변화를 측정하여 permeance 를 계산하였다. 그림 6은 반 pitch를 전기각 180도로 두었을 때 7.5도 각 마다의 위치에서의 permeance를 나타내었다. 이 그림은 수치적으로 정확한 계산이 아니라, 일정한 l, μ_0 를 고려하지 않은 각 점에서의 비율 비교하고 있다.

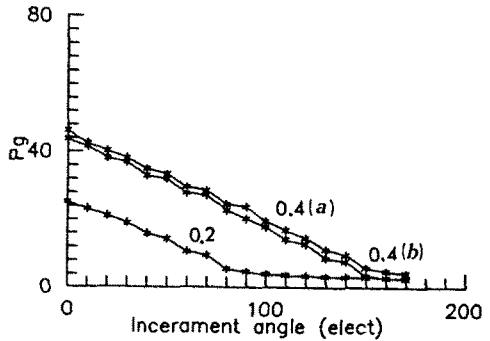


그림 6. 각각의 위치에서의 permeance

6. 결론

앞서 살펴본 바와 같이 AutoLISP 을 전기모터의 설계에 응용하여 본 결과

1) CAD 입력 장치를 쓰지 않고 Program 으로 도면을 작성할 수 있었고, 도면 작성을 부위별로 분할하여 작성할 수 있었고, 수정, 보완 첨가가 program을 변경함으로써 가능하였다.

2) Slide 개념의 도입으로 회전자 Increment 상틀을 세밀히 관측 할 수 있었고, CAD 상에서 할 수 있는 계산 기법을 도입, 모터의 해석에도 적용이 가능함을 보여 주었다.

본 논문에서는 단지 스텝모터에 적용하여 설계하였지만 다른 전기모터의 설계에도 이용 가능하리라 생각되며, 모터설계에 AutoLISP 을 이용하였을 때 CAD 입력장치를 이용하는 경우 보다 비용과 시간면에서 많은 절약을 가져옴은 물론 다양한 계산의 도입으로 보다 발전된 전기모터 설계 및 해석이 가능하리라 본다.

참고 문헌

[1]B. C. Kuo, " Theory and Application of Step Motor" , West Publishing Co., 1974.
 [2]Autodesk, Inc. " AutoCAD release 10 " , Publication AC10RM, 1989.
 [3]Takashi Kenjo, "Stepping motors and their microprocessor controls", Clarendon Press, Oxford, 1984.