

초소형 스텝핑 모터의 설계 및 제어 기술

임 태 빈*, 류 세 현*
 (*전자부품연구원 정밀기기연구센터)

1. 서 론

최근에 FA, OA 기기등의 메카트로닉스 분야와 정밀 산업분야의 눈부신 발전과 시스템의 고성능화 및 소형경량화에 따라 스텝핑 모터는 핵심 구동원으로서 수요의 폭이 증가하고 있다. 이것은 스텝핑 모터가 외부 입력펄스 신호의 주파수에 비례한 회전속도를 얻을 수 있는 개루프 제어가 가능하고, 디지털신호로의 제어에 따른 속도제어 범위가 넓으며, 또한 정·역전, 정지, 기동 및 가변속 운전이 용이하고 높은 응답 특성을 갖기 때문이다. 고속, 고응답성에서 보면 서보 모터도 유사한 기능을 가지지만, 서보모터는 검출기로 움직인 양을 피드백 하는 시스템 클로즈 루프의 제어 시스템으로 되어 있어서 가격이 비싸다.

다음의 표 1은 스텝핑 모터의 용도에 대하여 나타내고 있다.

표 1. 스텝핑 모터의 용도

구분	종용기기
FA 기기	X-Y테이블, NC머신, 드레서, 레이저가공기등
반도체제조장치	웨이퍼 처리장치, 웨이퍼반송공정, IC분터, 다이싱머신, IC검사장치등
자동화 기기	ATM, 티켓판매기, 우편구분기, 라보시스템, 지폐카운터, 자동판매기등
의료 기기	각종분석기, 혈액펌프, 분포기, 분광기등
OA 기기	복사기, 팩시밀리, 프린터, 워드프로세서, 자기디스크장치등

앞으로도 스텝핑 모터의 용도는 더욱 확대될 것으로 기대되어 지며, 마이컴 등에서의 직접적인 디지털제어 방식의 급속한 발전과 서보모터로서의 BLDC 모터와의 경합 및 구동회로 기술발달에 의한 모터고유의 불안정현상의 개선등과 같은 스텝핑 모터의 주기기술동향을 생각할 수 있다.

따라서, 본고에서는 이러한 스텝핑 모터의 설계 및 제어 기술에 관하여 실제로 설계, 제작한 영구자석을 가지는 자동차 계기용 초소형 스텝핑 모터에 대하여, 구성요소별 설계기술, 대상모델의 특성해석 및 제어기술에 관하여 기술하고자 한다.

2. PM형 스텝핑 모터의 설계 구현

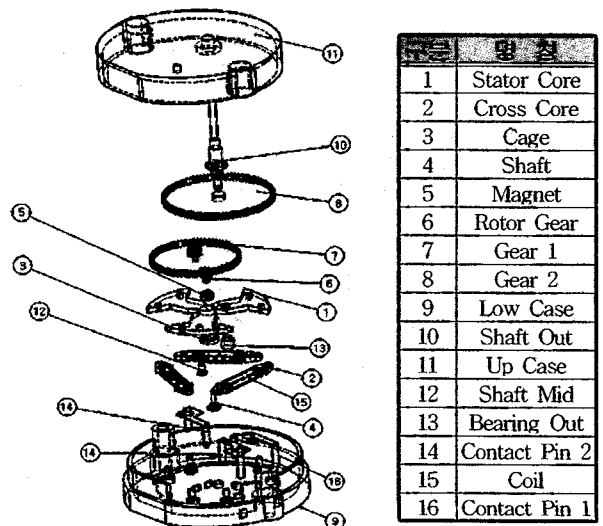


그림 1. 스텝핑 모터의 조립도

그림 1은 기어박스를 갖는 계기용 스테핑 모터에 대한 조립도를 나타내며, 상수는 3상, 마그네트는 2극이다. 또한, 그림 2는 모터부분에 관한 사진을 보여준다. 본 고에서 제작한 스테이터의 직경은 20[mm]이며, 조립된 모터의 총 외경은 30[mm], 두께는 9[mm]이다.



그림 2. 영구자석형 스테핑 모터

2.1 고정자

일반적으로 자동차 산업시장에서는 작은 크기, 적은 중량, 높은 효율을 요구한다. 따라서, 모터의 소형화가 요구되며, 두께를 줄여 무게를 경량화 하는 것이 가장 일반적이다. 모터의 고정자를 제작하는 방법에는 여러 가지가 있다. 첫째로, 일정 두께를 갖는 재료를 적층하여 편칭하는 방법을 들 수 있으며, 이것은 큰 모터에 유리하다. 둘째로, 아이언, 실리콘-아이언, 니켈-아이언 분말을 소결하는 방법이다. 이것은 재료의 특성상 대량생산, 아주 저 가격의 생산품에 적합하다. 또한, 압연재를 편칭하여 형성하는 방법이 있으며, 이것은 아주 가는 코일의 권선이 요구 될 때 적합하다. 각각의 장단점을 고려하고 생산성 및 조립성을 고려한 고정자의 구조설계는 금형비를 원가적으로 고려 할 수 있는 중요한 부분이다. 그림 1의 조립도를 보아 알 수 있듯이, 본고의 대상모터는 협소한 공간내에 기어와의 연계를 가져야 하므로 고정자의 형상 및 구조 설계시 공간활용과 조립성을 최대한 고려하여 설계를 하였다.

2.2 마그네트

본고의 대상모델과 같이 구조적으로 초소형 및 고효율을 요하는 모터에 사용되어지는 마그네트는 SmCo나 NdFeB 합금을 사용하여 사출 또는 압축, 성형하여 플라스틱 본딩을 하여 사용한다. 생산성을 고려하여 저 가격이면서 높은 start-stop 주파수를 갖고 얇은 두께를 유지하기 위해서는 사출 성형된 마그네트가 적합하다.[1]

또한, 영구자석의 성능을 충분히 끌어내기 위해서는 적절한 자기회로 설계가 필요하고, 영구자석의 모델링 방법에 능숙하지 않으면 안된다. 최근에는 컴퓨터의 빠른 진보와 소프트웨어의 눈부신 발전에 따라 자기회로 설계의 환경은 대단히 높아졌으며, 수치해석을 이용한 정확한 자기회로 특성해석 및 설계가 가능해졌다.

따라서, 다음절에서는 초소형 스테핑 모터에 대하여 2차

원 유한요소 해석의 실례를 보이기로 한다.

3. 유한요소법을 이용한 특성 해석

대부분의 전기기기는 그 내부에 저장된 자기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 구동원리를 가지므로 계를 지배하는 특성을 Maxwell 방정식으로 나타낼 수 있다. 본 고의 해석대상 모델인 영구자석형 초소형 스테핑 모터에 대한 계의 지배방정식은 식(1)과 같다.[2]

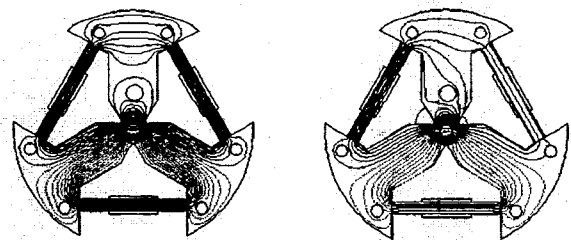
$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times A \right) = J_0 + \nabla \times \frac{1}{\mu_r} M, \quad (1)$$

여기서, 해석영역을 2차원으로 가정하고 축 방향으로 무한하다고 보면, 식 (1)에 나타낸 자기벡터 포텐셜 A 와 전류밀도 J_0 는 z 축 방향으로만 존재하게 된다. 또한, 잔류 자화량 M , 이 x, y 성분만 존재한다고 보면 식(2)과 같은 자기벡터 포텐셜을 이용한 해석영역의 2계 편미분의 지배방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} \right) = -J_0 - \frac{1}{\mu_r} \left(\frac{\partial M_{ry}}{\partial x} - \frac{\partial M_{rx}}{\partial y} \right) \quad (2)$$

식 (2)에 Galerkin법을 적용하여 정식화하고 모터 회로방정식과 조합을 하면 전체 시스템 방정식을 얻을 수 있다.

다음의 그림 3-6는 초소형 스테핑 모터를 한 회전당 6스텝으로 구동할 경우, 200 [pps]의 입력전압을 구동원으로 하여 2차원 시간차분 유한요소법을 이용하여 해석한 자속선도, 정토크, 운전 토크 및 상전류 특성에 대한 각각의 해석결과 특성을 보여준다. 이로부터 홀딩토크를 포함한 실제 모터 구동시에 발생하는 토크리플 및 전류리플등의 실제값들을 예측할 수 있으며, 설계사양과의 타당성을 비교하여 각각의 파라미터를 재설계 할 수 있다.



(a) 영구자석만 있을 경우(i=0) (b) 여자시

그림 3. 자속선도

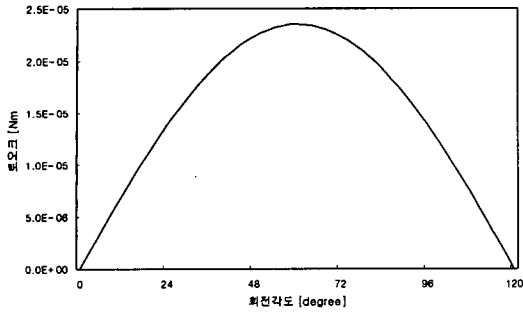


그림 4. θ -T 특성

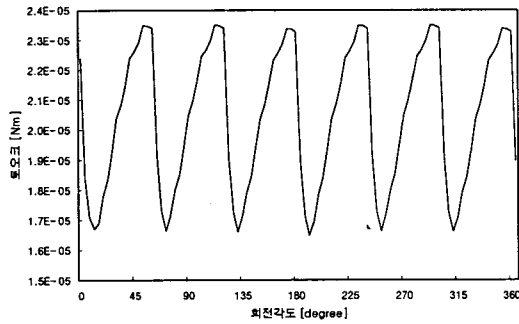


그림 5. 토크 특성

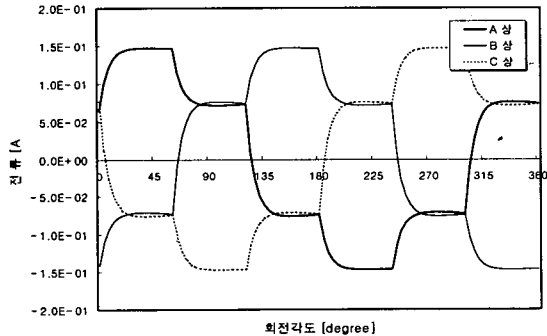


그림 6. 상전류 특성

4. 스텝핑 모터의 드라이브 방식

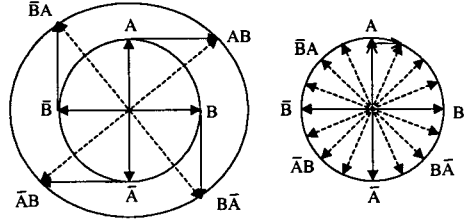
스텝핑 모터의 드라이브 기술은 모터의 성능을 결정하는 중요한 요소이며, 스텝핑 모터를 응용한 기기의 성능에 커다란 영향을 미친다. 따라서, 응용기기의 요구성능을 실현하려면 그 선정에 충분한 고려를 하여야 한다.

본 절에서는 저진동 구동의 장점을 가지고 있어 많은 시스템에 응용이 되고 있는 마이크로 스텝 구동방식에 대하여 기술한다.

4.1 마이크로 스텝 제어

최근에 스텝핑 모터의 구동 방식으로서 마이크로 스텝 구동 방식을 많이 채택하고 있다. 이것은 스텝핑 모터의 기

본 스텝각을 세분화 하여, 미소각 제어를 할 수 있고 토오크 리플이 적어 저진동, 저소음의 구동을 할 수 있기 때문이다.



(a) 1,2,1-2상 여자 때 (b) 4분할 마이크로 스텝인 경우

그림 7. 2상 모터의 토오크 벡터도

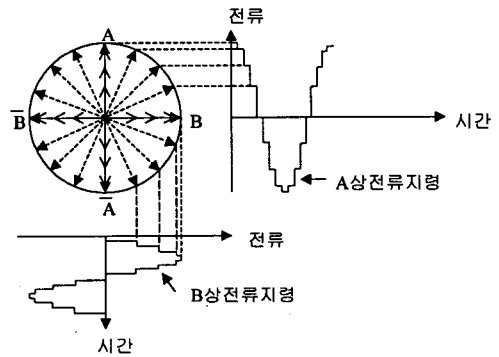


그림 8. 전류지령과 토오크 벡터의 관계

마이크로 스텝 구동방식은 각 상의 권선에 흐르는 여자전류를 정현파적으로 변화시켜 기본 스텝각의 중간영역에서도 위치제어가 가능한 구동방식이다.[3] 그림 7은 2상모터의 4분할 마이크로 스텝 여자방식에서 토오크 벡터도를 나타낸다. 그림 7을 보아 알 수 있듯이 마이크로 스텝 구동방식은 미소의 스텝각을 얻는 동시에 각 여자때의 합성 토오크가 한상 여자시의 토오크 값과 같도록 여자전류를 제어한다. 이로부터, 2상 권선의 여자전류는 일반적으로 정전류 구동방식을 사용하여 그림 8와 같은 관계를 유지하면서 정현파상으로 제어된다.

4.2 마이크로 스텝 제어의 구현

다음의 그림 9는 초소형 스텝핑 모터의 마이크로 스텝 제어를 위한 제어 순서도를 나타내며, 그림 10은 마이크로 스텝 제어를 위한 블록도를 나타낸다.[4][5]

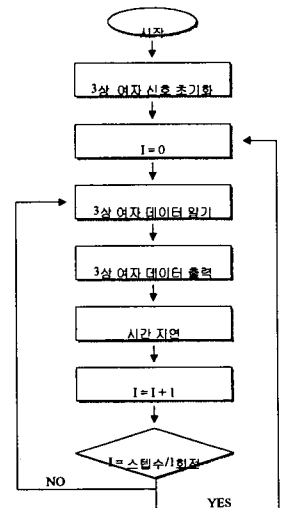


그림 9. 제어 순서도

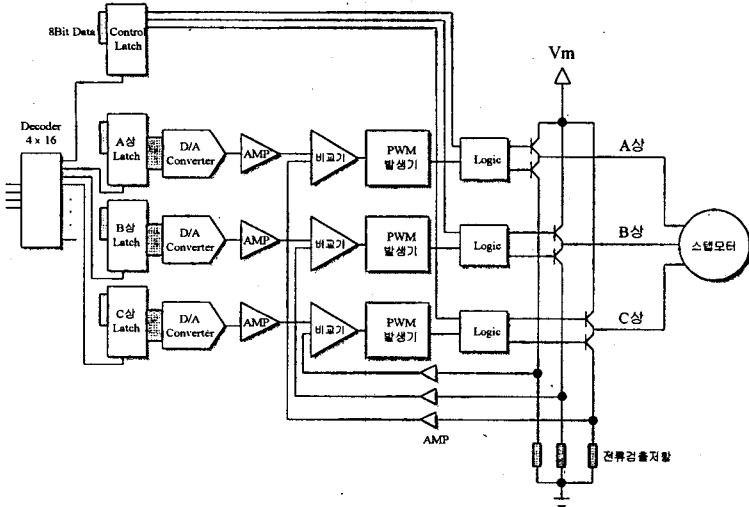


그림 10. 마이크로 스텝 제어의 블록도

마이크로 스텝 구동을 위한 메인 CPU는 인텔사의 80C196KC를 사용하였다. 메모리는 32KB의 ROM, RAM을 사용하였으며, 마이크로 스텝 구동에 사용될 사인파의 데이터를 저장하고 있다. 또한, 3상 데이터의 출력을 위하여 3개의 어드레스가 선정되었으며, 구동부와 인터페이스는 34핀 헤더를 이용하여 데이터 및 전원의 전송이 이루어지고 있다. 메인 컨트롤러에서 보내어진 데이터 값들은 34핀 헤더를 통하여 마이크로 스텝 구동을 위한 데이터로서 사용된다. 이 값들은 D/A 컨버터를 거쳐 전류치의 아날로그값을 가지게 되며, 전류-전압 변환기를 거쳐 인버터의 스위칭 전원으로 사용되어진다.

그림 11와 12는 6스텝과 36스텝 구동에서의 상전류 특성과 DAC 입력파형의 특성을 각각 나타내고 있다. 그림을 보아 알 수 있듯이 6스텝 구동에서는 DAC 파형의 한 주기

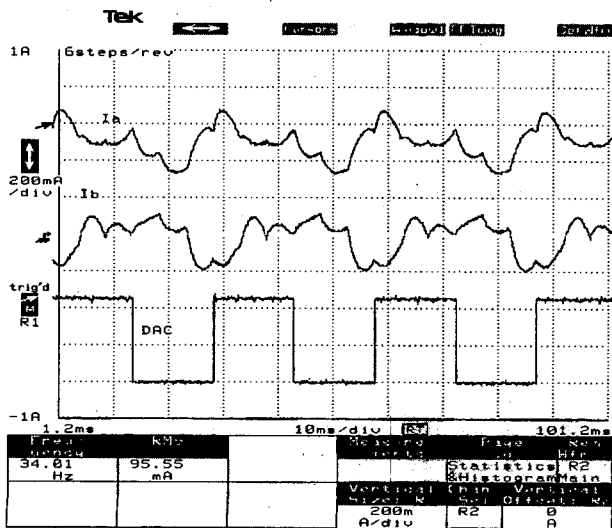


그림 11. 상전류 및 DAC 입력파형(6스텝)

안에 6개의 펄스가, 36스텝 구동에서는 36개의 펄스가 각각 출력됨을 알 수 있다. 그리고, 상전류간에 120°의 위상차를 가짐을 보여주며, 펄스의 주파수는 약 200[pps]임을 알 수 있다. 또한, 그림 12에서 알 수 있듯이 한 주기안의 파형이 6스텝 구동에 비하여 6배로 분할되었음을 알 수 있으며, 상전류 파형이 사인파 형상에 매우 가까워짐을 알 수 있다.

5. 결론

최근에 산업기술의 발달과 더불어 소형 정밀 모터의 설계 및 제어 기술은 많은 발전이 있었으며, 설계의 다양성 및 제어의 정밀성이 크게 향상되었다.

본 고에서는 이러한 정밀 메카니즘의 핵심 구동원으로써 많은 사용이 되어지고 있는 스텝핑 모터에 대하여 실제로 제작한 연구자식을 가지는 계기용 초소형 스텝핑 모터를 가지고, 설계, 특성해석 및 제어시의 유의점과 실례를 들었다.

앞으로, 초소형 스텝핑 모터의 특성연구를 위한 측정기와 평가기술 및 정확한 계측기술의 개발이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Takashi kenjo and Akira Sugawara, "Stepping Motors and Their Microprocessor controls", Oxford University Press, 1994.
- [2] 임달호, "전기계의 유한요소법", 동명사, 1992.
- [3] 최익, "제어용모터 실무기술", 기술, 1991.

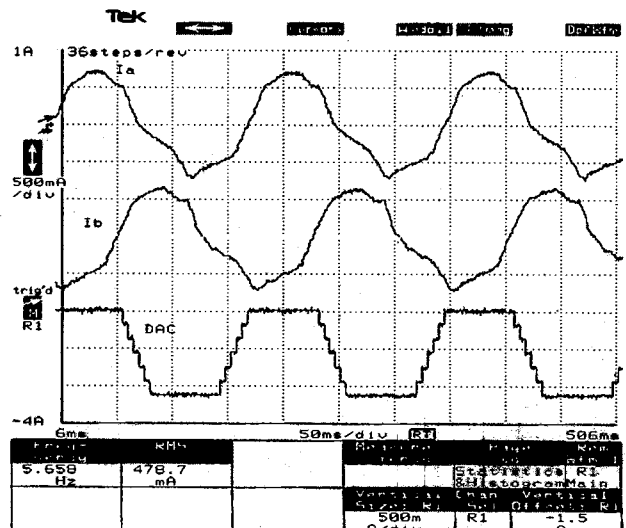


그림 12. 상전류 및 DAC 입력파형(36스텝)



- [4] Doriano Ciscato, Alessandro Fehl, Leonardo Turolla, "Microstep Control of Floppy Disk Drive", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 35, No. 4, 1998.
- [5] Benjamin C.Kuo, "Theory and Applications of Step Motor", WEST Publishing Co., 1974

저 자 소 개



임태빈(任泰彬)

1957년 3월 6일생. 1979년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과(공학박). 1985년~1987년 금성정밀 중앙연구소. 1987년~1992년 한국써보(주) 연구실장. 1993년~1995년 삼성전기(주) 연구실장. 1995년~현재 전자부품연구원 정밀기기연구센터장



류세현(柳世鉉)

1970년 11월 16일생. 1996년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과(석사). 1997~1998년 전자부품연구원 위촉연구원. 1998년~1998년 (주)삼흥사 위촉연구원. 1999~현재 전자부품연구원 인턴연구원