

스텝모터의 개요와 기술동향

정 대 경

(대우중공업(주) 선임연구원)

1. 서론

스텝모터는 입력된 디지털 펄스를 아날로그 출력으로 변환시키는 incremental-motion actuator이다. 스텝모터는 1920년대부터 사용되기 시작하였고 처음에는 영국 해군에서 함포의 위치제어용으로 사용하였다. 그러나 1960년대까지는 사용범위가 극히 제한되었으나 컴퓨터 기술이 발전되고 컴퓨터 주변기에 상용되는 디지털구동장치(actuator)의 수요가 확대되면서 스텝모터의 종류가 다양해지고 사용량이 대폭 급증하게 되었다.^{1), 2), 3)}

최근에는 스텝모터의 이용범위가 많이 증가하고 있으며 특히 프린터, DASD (direct access storage devices), 로봇 및 NC machine tool 등에 사용되고 있다. 프린터에서는 daisywheel, 종이 공급 및 리본의 회전에 이용되며 플로피 디스크, 하드디스크 드라이브의 헤드 구동용으로 이용된다. 로봇과 NC 공작기계에서는 arm 및 테이블의 위치제어와 tool의 교환등에 이용된다.⁴⁾

스텝모터는 저가격, 고신뢰성, 저전류 특성 등 많은 이점이 있어 컴퓨터 주변기기, 로봇 등의 수요 증가와 함께 스텝모터의 수요는 점점 증가할 것이다. 본 특집에서는 스텝모터의 종류 및 동작원리 그리고 최근의 스텝모터의 제어기술과 스텝모터에 사용되는 영구자석 등 재료개발에 따른 스텝모터의 개발 및 기술동향에 대하여 설명하고자 한다.

2. 스텝모터의 개요

2.1 종류 및 동작원리

스텝모터의 적용분야는 매우 다양하며 그에 따라 용량 및 종류도 다양하다.¹⁾ 작은 용량의것은 디스크 드라이브 등에 사용되는데 길이 20mm, 직경 35mm, 250g·cm의 토오크, 회전자의 관성은 5g·cm² 정도이며 로봇의 arm을 직접 구동시키는 경우에는 길이 180mm, 직경 400mm, 2.5 × 10⁶g·cm의 토오크를 내는 스텝모터가 사용되고 있다.⁵⁾

스텝모터의 형태에 따른 설명을 하기 전에 스텝모터의 동작원리를 간단하게 이해하여 보자. 근본적으로 스텝모터는 불연속적인 위치제어 장치이다. 그림1은 4상 스텝모터의 간단한 개념도이다. 모터에는 4상의 권선이 되어 있고 코일A에 전원을 가하면 스텝모터는 A의 위치로 움직인다. 여기서 코일B에 전원을 가하면 스텝모터는 B의 위치로 움직인다. 연속적으로 4상의 전원을 차례로 가하면 (A-B-C-D-A-B-C-D...) 스텝모터의 회전자는 각각의 위치로 움직이며 마지막 상의 전원이 가해진 위치에서 정지하고 있게된다.

스텝모터는 구조에 따라 크게 세가지로 분류되는데 가변릴럭턴스형(VR), 영구자석형(PM), 그리고 앞의 두가지를 종합한 하이브리드형이다.²⁾

그림2는 Single stack VR 스텝모터를 나타내고 있다.

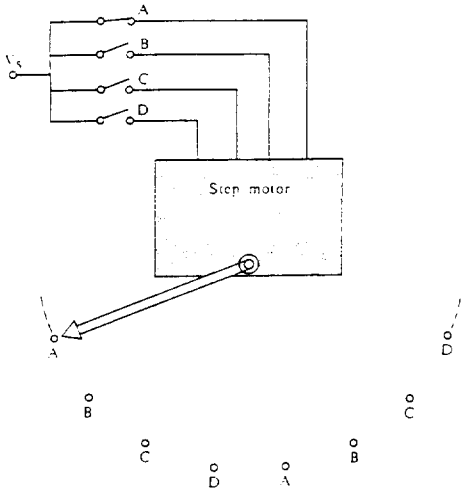


그림 1. Simplified four phase step motor.

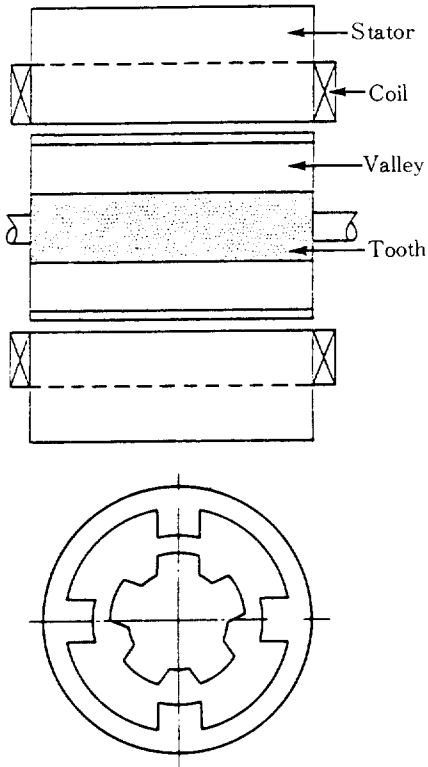


그림 2. Single stack VR step motor.

VR 스텝모터에는 영구자석이 없으며 회전자는 고정자의 권선이 차례로勵磁됨에 따라 회전하게 된다.

그림3은 "Can-Stack" 모터라 불리는 PM 스텝모터이다. 회전자는 원통형으로 되어 있으며 회전자에 세라믹

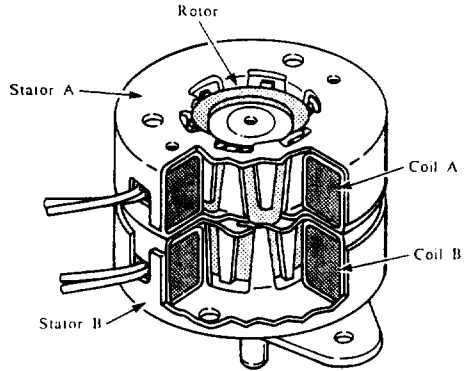


그림 3. PM Can-Stack step motor

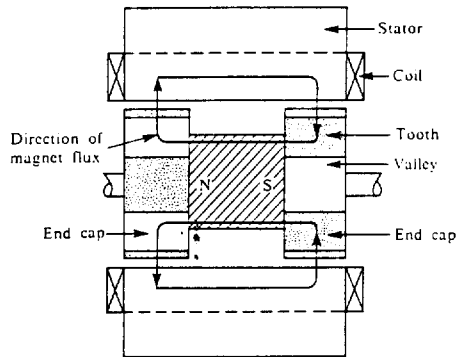


그림 4. Hybrid step motor

영구자석이 N, S, N, S 번갈아 착자되어 있고 A, B 상에 차례로 전원을 인가함으로써 회전자가 회전하게 된다.

그림4는 하이브리드 스텝모터를 나타낸다. 하이브리드 스텝모터는 가변릴럭턴스형과 영구자석형의 원리를 합친것으로서 효율이 높고 여러가지 장점이 있기 때문에 VR 스텝모터와 함께 가장 널리 사용되고 있는 스텝모터이다. 가장 일반적으로 사용되는 스텝각도 1.8° 인 하이브리드 스텝모터를 그림5에 나타내었다.

그림4는 하이브리드 스텝모터의 축방향단면도이며 회전자에는 영구자석이 축방향으로 위치하게 되고 영구자석에 의한 磁路는 그림에 나타내어진 바와 같다. 회전자는 그림5에서와 같이 두부분으로 나눌수 있으며 N극과 S극으로 구분된다. 회전자의 N극과 S극의 teeth는 서로 $\frac{1}{2}$ tooth 피치만큼 서로 엇갈려 있게 되고 고정자의 teeth는 N극과 S극에서 모두 일치하게 된다. 따라서

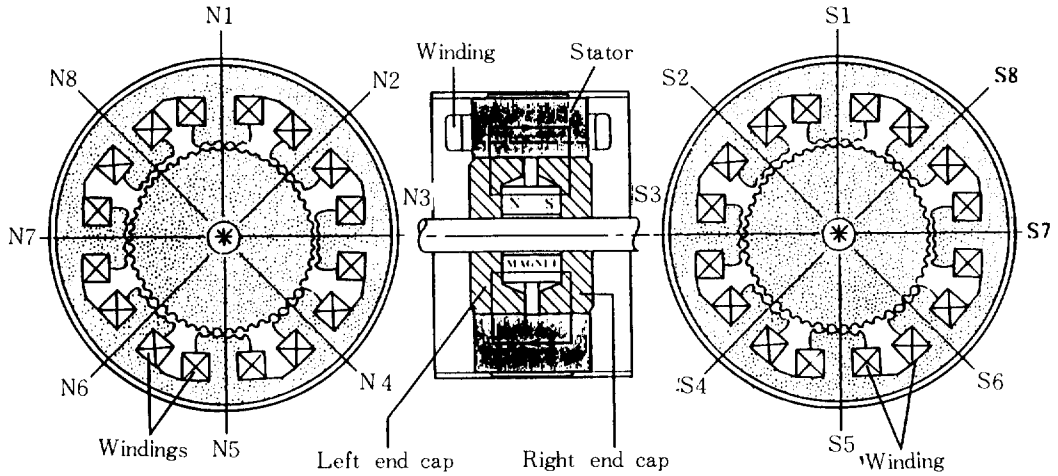


그림 5. Cutaway view of 1.8 degree hybrid step motor

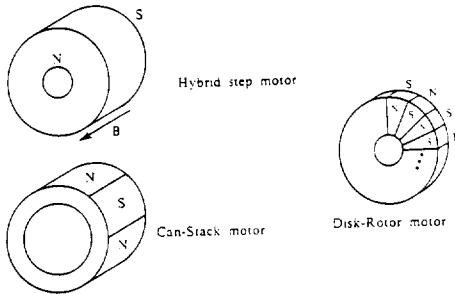


그림 6. Magnet shapes for step motors

4상의 전원이 차례로勵磁되면 고정자와 회전자의 teeth가 N극과 S극에서 번갈아 일치하게 되어 회전자가 회전하게 된다.

이밖에도 multi-stack형 VR 스텝모터가 있고 직선운동을 할수 있는 선형스텝모터 등이 있으나 여기서는 생략하기로 한다.

그림6은 하이브리드형, PM형 및 뒤에서 설명하는 Disk-Rotor 형의 영구자석의 형상을 나타내었다.

2.2 토크식의 유도

스텝모터의 동작은 고정자와 회전자의 teeth 사이에 작용하는 힘으로 설명할 수 있다. 따라서 토크를 구할 때 磁氣力의 관점에서 식을 유도하는 것이 일반적이다.⁶⁾

지금 그림7에 나타난 바와 같이 A극의 권선을勵磁시켰을때 變位 x 가 있다면 磁氣力이 발생하여 變位 $x=0$ 의 방향으로 B의 tooth가 이동한다. 여기서 운동방향이 1차원의 x 축방향으로만 있다면 磁氣力 F 는

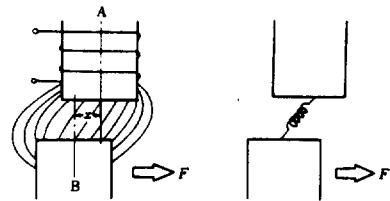


그림 7. Modelling of magnetic force

$$F = \frac{dW_m}{dx}$$

로 표현된다. 여기서 W_m 은 A와 B사이의 공극에 저장된 磁氣에너지이고 磁界의 세기를 $H[A/m]$, 磁束密度를 $B[T]$, 공기중의 透磁率을 $\mu_0[H/m]$, 공극의 체적을 $V[m^3]$ 라 하면

$$W_m = \frac{1}{2} BHv = \frac{1}{2\mu_0} B^2 v [J]$$

로 표현되고 따라서 작용력 F 는

$$F = \mu_0 H \frac{dB}{dx} v = \frac{1}{\mu_0} B \frac{dB}{dx} v [N]$$

로 된다.

스텝모터에 작용되는 토크식을 좀더 구체적으로 유도하기 위해 그림8과 같이 VR형 스텝모터의 모델을 설정한다. 고정자磁極의 권선수를 N 이라하고 전류 I 가 흐를때 磁氣飽和에 의한 非線形현상을 무시한다면 고정자磁極에 있어서의 쇄교자속 $\lambda[wb]$ 와 勵磁電統 I 는 비례한다. 等價的으로 그림8과 같이 전기회로로 변형시키

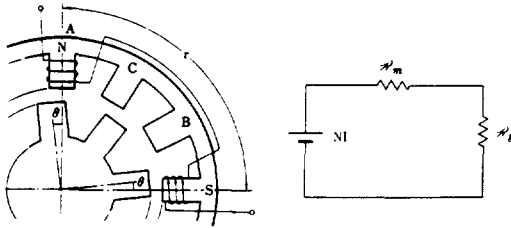


그림 8. Model and its equivalent circuit

면 R_m 은 철심의 磁氣저항, R_g 는 공극의 磁氣저항이 되고,

$$\lambda = NI,$$

$$\phi = NI/R, R = R_m + R_g$$

되어 축적된 磁氣에너지 W_m 은 다음식으로 표현된다.

$$W_m = \int Id\lambda = \frac{1}{2} \lambda I = \frac{1}{2} \cdot \frac{(NI)^2}{R} \quad [J]$$

따라서 W_m 은 위의 식들로부터

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2 \quad [J], (\because L = N^2/R)$$

이 된다. 여기서 리액턴스 L 은 그림9와 같이 회전자의 위치에 따라 변화한다. 따라서 스텝모터의 토오크는 각도 θ 함수로서 다음식으로 표현된다.

$$T = \frac{dW_m}{d\theta} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad [N \cdot m]$$

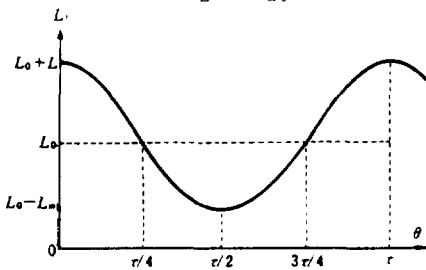


그림 9. Reactance with displacement

실제로 등가리액턴스 $L(\theta)$ 의 계산이 쉽지 않으므로 이것을 구하는 방법이 여러가지 제시되고 있다.^{7,8)}

2.3 스텝모터 시스템의 구성

스텝모터를 구동시키기 위해서는 그림10과 같이 시스템을 구성해야 하며 각상을 勵磁시키는 드라이버(구동회로), 모터의 가감속제어와 위치제어를 수행하는 제어회로가 필요하게 된다. 제어회로는 마이크로프로세서를 이용하면 소프트웨어로 가감속 패턴 및 위치제어를 행하는 펄스패턴을 만들 수 있다. 페루우프 제어를 할 때에는 움직임의 각도 및 속도를 검출하여 제어회로에 정보를 전

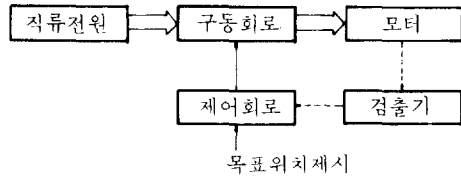


그림 10. Step motor system block diagram

달해야 한다.⁶⁾

3. 최근의 스텝 모터 기술

3.1 모터의 기술

최근에는 로봇의 arm에 직접 대용량의 VR 스텝모터가 사용되고 있다.(그림. 11), 로봇에서는 로봇팔을 저속으로 정확한 위치로 이동시키기 위해 서어보모터에 기계적인 감속기를 부착시켜 사용하여 왔는데 감속기의 백래쉬 때문에 위치정밀도에 문제가 있고 항상 가변하는 부하특성 때문에 감속기의 진동이 심하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 저속, 고토오크의 VR 스텝모터가 사용되고 있다.

한편 산업자동화용으로는 개량된 하이브리드 스텝모터가 사용되고 있다. 자동차용으로는 PM스텝모터가 많이 사용되며, 자동차의 중량을 줄이고 연료소모의 최소화를 위한 제어장치에 사용된다.⁹⁾

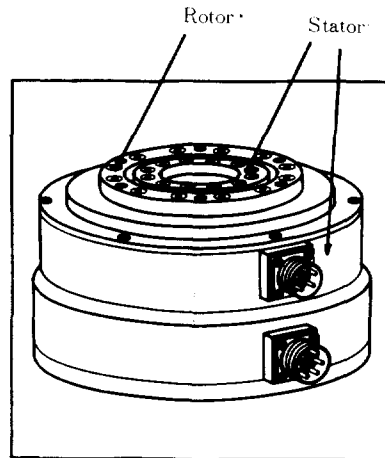


그림 11. Direct drive VR step motor

3.2 영구자석 재질의 개발

현재까지는 영구자석으로서 Alnico 자석을 주로 사

표.1. Magnet comparisons

	Ceramic	Alnico	Rare-earth Co	Neodymium
(BH) _{max} (10 ⁶ G—Oe)	1-3.5	1.3-10	9-27	25-36
Br (K Gauss)	2.2-3.85	5.6-10.5	6-10.5	10.5-12.5
Hc (Oe)	1825-3250	470-1600	6000-10000	8500-11500
Density (gm/cm ³)	5	7.3	8.4	7.4
Rev.Temp. Coeff. of B (%/°C)	.189	0.02	0.04	0.123-0.126
Recoil Permeability	1.05-1.15	1.9-6.8	~1.0	1.05

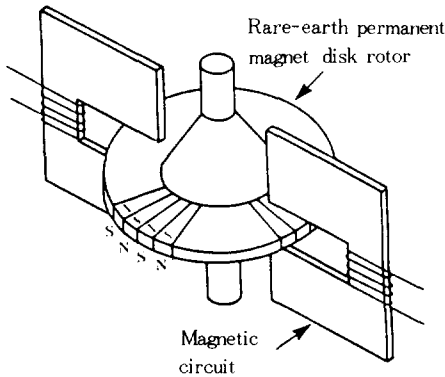


그림 12. Disk Rotor step motor

용하여 왔으나 충분한 磁束을 주기 위해서는 자석이 차지하는 체적이 클 수 밖에 없었고 이 때문에 회전자의 관성과 모터의 크기가 커졌다. 이러한 모터들은 프린터의 종이 공급 장치나 리본을 회전시키는 데에는 그런대로 사용할 수 있으나 회전자의 관성이 작고, 작은 체적을 요구하는 daisywheel이나 disk access 에는 사용하기 어렵다. 이러한 문제가 고에너지 밀도를 갖는 희토류자석(Nd-Fe-B magnet)이 등장하면서 해결될 수 있게 되었다.”

표1에서 알 수 있는바와 같이 에너지 밀도가 기존의 자석보다 20~30배 크기 때문에, 예를 들어 그림3의 “Can- Stack” 스텝모터에 Nd-Fe-B 자석을 사용하게 되면 훨씬 크기가 작고 고토오크를 내는 모터를 만들 수 있다. 그림12는 최근에 개발된 “Disk-Rotor” 스텝모터이다. 회전자는 디스크형이며 두께는 약 1mm이고 회로

류 자석으로 되어 있다. 그림과 같이 디스크 가장자리의 위 아래로 N,S가 형성되고 N,S 극이 번갈아 착자되어 있다. 얇은 디스크는 관성이 아주 작으므로 가감속운전이 매우 용이하고 에너지밀도가 크기 때문에 이 모터의 공극은 磁氣飽和를 고려하여 기존의 스텝모터의 공극(50μm 정도)보다 약 20배 큰 1mm 정도가 되므로 모터의 제작이 상대적으로 용이하며 인덕턴스도 작아서 고속운전에 적합하다.

3.3 모터 제어기술

최근에는 저속운전을 하면서 미세스텝각으로 운전할 수 있는 모터 제어기술이 개발되고 있다. 예로서는 태양열 集熱板의 움직임을 제어하는 것으로 스텝모터의 스텝각의 1/10 ~ 1/64 정도로 움직임을 제어할 수 있다. 이는 현대 제어이론의 적용과 제어회로의 IC화로써 가능하게 되었다.

또한 페루우프 제어가 적용됨에 따라 damping, 안정도 등 특성이 향상되고 있고 로봇 등에서 위치제어가 훨씬 용이하게 되었다.

4. 맺음말

이상으로 스텝모터의 종류, 동작원리 및 개발현황에 대하여 알아 보았다. 컴퓨터 주변기기의 증가와 산업자동화 추세에 따라 스텝모터의 수요는 점점 증가될 것이며, 영구자석 등 재료의 개발과, 반도체의 발달에 따른 제어회로의 IC화, 현대 제어이론의 도입, 설계기술의

향상으로 인하여 앞으로는 좀더 콤팩트하고 특성이 좋은 스텝모터가 계속 출현할 것으로 믿는다.

참 고 문 헌

- 1) B.C. Kuo, Step Motors and Control Systems, SRL Publishing Company, 1979.
- 2) T.Kenjo, Stepping motors and their microprocessor controls, Rendon Press, Oxford, 1984.
- 3) B.C. Kuo, Theory and Application of Step Motors, West Publishing Company, Illinois at Urbana-Champaign, 1974.
- 4) Hi-Dong Chai, "Tutorial on Role of Neodymium Magnets in Actuators for Computer Peripherals", MOTOR-CON '86, PP. 144-170, October 1986.
- 5) MEGATORQUE, Direct Drive Motor Systems Data Catalog, Motornetics, Coporation, A Subsidiary of NSK, JAPAN.
- 6) 海老原大樹外, "스텝 펌 모터 活用技術", 工業調査公, 1984.
- 7) C. Alblert, "The Effect of Indutance on Step Motor Performance", MOTOR-CON '86, PP. 89-94, October 1986.
- 8) K. Reichert et. al, "The Calculation of Forces and Toques Within Numerical Magnetic Field Calculation Methods", Proceedings on COMPUMAG, PP. 64-73, 1976.
- 9) C. Albert, "Overview : Trends in Step Motor Technology", MOTOR-CON '86, PP. 60-61, October 1986.