

2000년도 대한전기학회 전문대학교육연구회 하계학술대회 논문집 2000. 7. 7-8

여자방식에 따른 리렉턴스 전동기의 특성해석

金宗謙*, 金一中**, 李殷雄***
원주대학*, 주성대학**, 충남대학교***

The Characteristic Analysis of Reluctance Motor by Excitation Mode

Jong-Gyeum Kim*, Il-Jung Kim**, Eun-Woong Lee***
Wonju College*, Juseong College**, Chungnam Univ.***

Abstract - The SRM is a simple and robust machine which is finding applications over a wide power and speed range. To properly evaluate the motor performance, a reliable model design is required. This paper explains the various excitation mode and winding configuration to analyze the torque performance of SRM. A number of different idealized current excitation patterns are introduced, using unipolar, bipolar & square excitation, and the output torques produced by the various winding configurations are compared. The electromagnetic torque of the SRM was calculated from the rate of change of co-energy with respect to angular displacement. The simulation result shows that 3-phase square excitation mode models have revealed higher torque performance.

1. 서 론

이중 돌극(double salient pole) 구조를 가지는 SRM은 구조가 간단하고 투튼하며, 고속회전이 적합한데다 환경적인 측면에서도 유리할 뿐 아니라, 다른 전동기에 비해 제작비가 저렴하여 최근에 적용되는 사례가 높아지고 있다^[1,2]. 그러나 고정자와 회전자가 가지는 이중 돌극 구조 때문에 인덕턴스의 공극 분포에 따른 공간고조파의 영향으로 발생하는 토크 리플은 축 진동이나 소음의 원인이 되며, 또한 캠이 춥기 때문에 자기적인 비선형성이 높아 실용화하는데 많은 어려움이 있다^[1,2,3,4]. 따라서 이와 같은 비효율적인 문제점을 개선하기 위해 제어 및 자기회로의 설계 등을 통해 문제점을 해결하려는 다양한 연구가 진행되고 있다^[1,2,4,5,6]. SRM이 다른 전동기와 달리 가혹한 조건 및 높은 토크를 낼 수 있으므로 산업용으로 사용하기 위해서는 고정자의 권선에 여러 가지 여자방법을 적용하여 높은 특성을 낼 수 있는 것을 방식을 찾아보는 것은 중요한 의미를 가질 수 있다.

그래서 본 연구에서는 권선 감는 방법에 따른 인덕턴스의 분포 및 여자방식에 의해 발생하는 토크 특성에 대해 해석하고서 가장 높은 토크를 발생하는 여자방법을 찾고자 한다.

2. 기본 동작원리

SRM 고정자 권선의 여자는 회전자의 위치에 따라 이루어지며, 고정자 극에 대해 회전자 극이 비정렬(unaligned)에서 정렬(aligned)하는 방향으로, 즉 회전자는 자기저항이 최대에서 최소가 되는 방향으로 토크를 발생시키며, 정렬되기 바로 앞전에 다음 상으로 여자를 바꿀 경우 회전이 지속된다. 이때 발생하는 토크는 식(1)과 같이 회전자 위치 변화에 의한 자기수반에너지(W_c)로부터 구할 수 있다.

$$T = \frac{\partial W_c}{\partial \theta} \quad (1)$$

이때 자기회로의 비선형성을 무시하고, 자기 수반에너지를 인덕턴스로 표현할 경우 식(1)의 토크는 식(2)와 나타낼 수 있다^[7].

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L}{\partial \theta} \quad (2)$$

즉, 토크는 인가되는 전류가 일정할 경우 전류의 방향에 관계없이 회전자의 위치에 따른 인덕턴스의 함수로서 인덕턴스의 공간분포와 밀접한 관계로 나타낼 수 있음을 알 수 있다. 이때 인덕턴스는 고정자와 회전자 극이 비정렬인 경우 최소이고, 정렬될 경우 최대가 된다. 식(2)는 자체 인덕턴스의 변화에 따른 토크를 나타낸 것이지만, 고정자 치와 치사이 슬롯내 권선을 절반만을 채운 단절권과는 달리 슬롯내부를 한방향의 감아인접하는 권선 또는 대칭의 권선과 관련을 지우게 한 전절권(fully pitched winding)에서는 권선 상호간의 결합을 이용하는 것으로서 자체 인덕턴스의 변화는 거의 일정하기 때문에 무시할 수 있다. 이때 발생 토크는 식(3)과 상호 인덕턴스의 항으로 표현할 수 있다.

$$T = i_u i_v \frac{\partial M_{uv}}{\partial \theta} \quad (3)$$

식(3)에서는 상호 인덕턴스가 감소하는 방향에서 부의 전류를 인가할 경우 정 토크를 발생할 수 있으며, 식(3)을 식(2)와 비교할 경우 토크는 계수 ½이 없어지므로 손실을 고려하지 않을 경우 2배가됨을 알 수 있다.

전절권에서 3상을 모두 여자할 경우 토크는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = i_u i_v \frac{\partial M_{uv}}{\partial \theta} + i_v i_w \frac{\partial M_{vw}}{\partial \theta} + i_w i_u \frac{\partial M_{wu}}{\partial \theta} \quad (4)$$

그림 1과 같은 이상적인 전절권에서 자체 및 상호 인덕턴스를 나타낸 것이다. 이 그림에서

회전각이 60° 와 90° 사이에 있다고 할 경우 자체 인덕턴스는 변화가 없지만, 상호인덕턴스 중에서 M_{bc} 는 상승, M_{ab} 는 감소 그리고 M_{ca} 는 일정한 값을 가진다^[8].

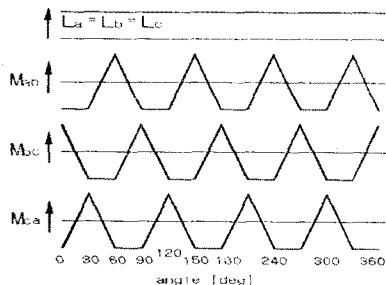


그림 1 전절권에서 회전자 위치에 따른 자체 및 상호인덕턴스

그림 1 과 같은 전절권에서 인덕턴스의 변화를 생각할 경우 식(4)와 같은 토크 식에서 두 항은 변화가 있지만, 나머지 한 항은 변화가 없으므로 0이 된다. 따라서 토크는 손실을 고려하지 않는 이상적인 경우 단절권 유니폴라를 기준으로 4배, 전절권 유니폴라 또는 바이폴라에 비해 2배가됨을 알 수 있다.

3. 권선 및 여자방법

SRM에 적용되는 권선법에는 단절권(short-pitched winding)과 전절권이 있다. 단절권은 고정자 각극에 권선을 집중적으로 감기 때문에 집중권(concentrated winding)이라고도 하며, 코일엔드가 짧은데다 콤팩트한 설계가 가능하므로 코일단의 절연이 쉽다^[2]. 전절권은 각극 사이 권선을 집중적으로 감아 마주보는 상대방 고정자극과 연결한 것이다.

해석에 사용된 3상 6/4극 모터의 기기정수는 표 1 과 같다.

항 목	값
고정자 치폭(β_s)	30.0[deg]
회전자 치폭(β_r)	32.0[deg]
고정자 직경	69.95[mm]
회전자 직경	35.6[mm]
공극 깊이	0.25[mm]
철심 적층 두께	60[mm]
1극당 권수(단절권)	100[turn]
1극당 권수(전절권)	200[turn]

표 1 기기 정수

단절권과 전절권에 전류를 인가하는 여자방식에는 유니폴라, 바이폴라, 3상 정현과 또는 구형과 구동방식이 있다^[2,3,8]. 단절권에서는 회전자의 위치에 따라 자기 인덕턴스만이 변화를 하므로 이 성분만이 토크 발생에 관여하지만, 전절권에서는 자기 인덕턴스에는 거의 변화가 없는 반면 상호 인덕턴스만이 토크 발생에 관련된다.

이들 각각의 여자 패턴 및 권선법은 그림 2~5 와 같다.

3.1 단절권 유니폴라 구동

단절권 유니폴라 구동은 그림 2와 같이 단절권에 순차적으로 여자하는 것으로서 정 토크를 발생하기 위해 인덕턴스가 증가하는 구간을 이용한다. 그러나 감소하는 구간에서는 부의 토크가 발생한다. 따라서 부의 토크가 발생하기 전에 회전자 위치를 검출하여 해당 고정자 권선의 여자를 바꾸면 지속적으로 토크가 발생된다. 단절권의 경우 부의 토크가 발생하므로 평균 토크가 줄어드는 단점이 있다.

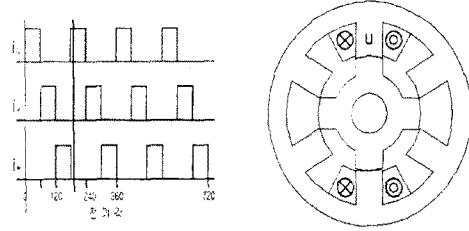


그림 2. 단절권 유니폴라 구동

3.2 전절권 유니폴라 구동

그림3에서와 같이 집중권으로 감겨져 있는 권선에 회전자의 위치에 따라 여자되는 권선은 on 되는 기간이 1주기의 $2/3$ 기간동안 통전한다. 2상이 여자 되도록 하되 전류는 둘 다 같은 정 방향이다. 따라서 바이폴라 구동의 경우 여자는 유니폴라 구동과는 다르게 인덕턴스의 증가 및 감소구간 모두를 이용할 수 있다.

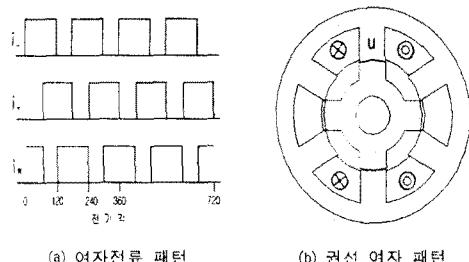


그림 3. 전절권 유니폴라 구동

3.3 전절권 바이폴라 구동

이 구동방식에서는 그림 3에서와 같이 항상 2상이 서로 다른 부호 전류를 인가하는 것으로서 전절권 유니폴라 구동에서와 같이 1주기의 $2/3$ 동안 통전한다. 바이폴라 전류로 2상을 여자하는 경우 상호 인덕턴스의 변화가 감소할 때에 하나의 상에는 정, 다른 한 상에는 부의 전류를 흘려 항상 정토크가 발생하도록 한다.

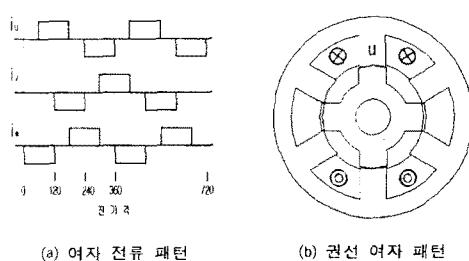


그림 4. 전절권 바이폴라 구동

3.4 전절권 구형파 구동

유니폴라 구동의 경우 토크 발생에 인덕턴스의 증가구간을 이용하지만, 바이폴라의 경우 감소구간도 이용한다. 이 방법은 모두 2상만을 여자하는 것이지만 전절권 구형파 구동의 경우 항상 3상을 동시에 여자하는 방식이다^[3,8]. 그럼 4에서와 같이 V, W상은 정의 전류를 그리고 U상에는 부의 전류를 인가한다.

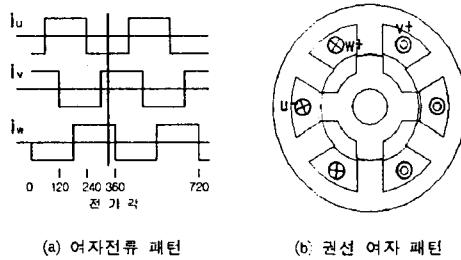


그림 5. 전절권 구형파 구동

4. 유한 요소법의 적용

4.1 지배방정식의 도입

SRM의 동작특성은 회전자의 위치에 따른 자기 수반에너지 변화에 영향을 받기 때문에 이를 구하기 위해서는 쇄교자속을 여자전류와 회전자의 위치함수로 표현해야 한다^[6,9].

그러나 회전자가 자기저항이 적은 쪽으로 이동함에 따른 쇄교자속과 자기 수반에너지는 철심의 포화로 인해 비선형성때문에 겹쳐지기 시작하는 부분에서의 인덕턴스는 여자전류의 함수가 된다.

SRM과 같은 돌극 구조나 국부포화에 의한 자기회로의 비선형 특성을 가진 기기의 특성해석에는 유한 요소법을 많이 적용하고 있다^[6,9].

변위전류를 무시할 수 있는 준 안정상태에서 전류밀도 J와 자계의 세기 H와의 사이에는 식(5)와 같은 관계가 있으며,

$$\nabla \times H = J \quad (5)$$

이 자계의 세기 H와 자속밀도 B의 자기벡터 포텐셜 A의 사이에는 식(6)이 성립한다.

$$H = \nu B = \frac{1}{\mu} B \quad (6)$$

$$B = \nabla \times A \quad (7)$$

여기서 μ 는 투자율이며, ν 는 자기저항율이다. 자속밀도는 연속적인 성질을 가지고 있으므로

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (8)$$

인 관계를 나타낸다. 식(6), (7)을 식(5)에 대입하면

$$\nabla \times \nabla \times A = \mu J \quad (9)$$

가 된다. 여기서 벡터 정리(vector identity)를 이용하면 식(9)는 식(10)과 같이 나타내 진다.

$$\nabla \cdot (\nabla \times A) - \nabla^2 A = \mu J \quad (10)$$

coulomb 조건 $\nabla \cdot A = 0$ 를 식(10)에 대입하면 식(11)과 같은 지배방정식을 얻을 수 있다.

$$\nabla^2 A = -\mu J \quad (11)$$

2차원 자계문제는 z 방향 자계벡터 포텐셜 A_z 만을 고려하면 식(11)과 같은 비선형 포아송 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) = -J_z \quad (12)$$

식(12)를 이용하여 자기 벡터 포텐셜 A를 구함으로서 전동기의 자속분포, 토크 및 쇄교자속을 구

할 수 있다^[6].

4.2 자기수반에너지와 토크

유한요소법으로 구한 자계를 이용하여 토크를 구하는 방법에는 저장된 에너지의 공간상의 변화비에 기초를 두고 계산하는 가상 변위법(virtual work method), 토크를 발생하는 폐곡면 전체에 걸쳐 Maxwell 응력에 의한 힘을 계산하는 Maxwell stress method 및 Lorentz 힘에 의해 구하는 Bil법이 있지만, SRM의 경우 토크는 회전자의 위치에 따라 자기 수반에너지의 변화로 구하는 것이 편리하다^[1].

자기수반에너지는 가상변위의 원리를 적용할 때 매우 유용하며, 식(13)과 같이 쇄교자속/전류의 면적곡선으로 표현한 것이다.

$$W_c = \int \nu B^2 ds - \int \int H \cdot dB ds \quad (13)$$

고정자 권선에 일정 전류를 인가하여 회전자의 위치가 자기저항이 적은 쪽으로 이동할 때 발생되는 토크는 식(1)을 다시 고쳐 쓰면 자기수반에너지 $W_c(\theta, i)$ 의 변화량에 비례하는 식(14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T(\theta, i) = \frac{\partial W_c(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (14)$$

토크는 식(14)와 같이 회전자의 위치와 전류에 따른 자기수반 에너지함수로 나타내지므로 회전자의 위치가 고정되었다고 가정할 경우 자기수반에너지를 쇄교자속 ψ 의 함수 나타낼 수도 있다.

$$W_c(\theta, i) = \int_0^i \psi(\theta, i) di \quad (15)$$

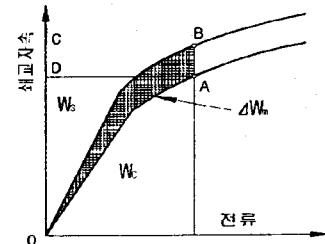


그림 6. 변위각에 따른 순시에너지 변화

그림 6에서와 같이 전류가 일정할 경우 발생되는 순시 토크는 에너지의 변화분 ΔW_e 를 회전자의 각변위 $\Delta\theta$ 로 나눌 경우 계산할 수 있다.

지금 그림 6에서 점 A에서 B로 에너지 변화가 발생한 경우 전원측과 교환되는 에너지 ΔW_e 는 식(16)과 같다.

$$\Delta W_e = ABCD \quad (16)$$

이때 저장된 에너지의 변화분 ΔW_s 는 식(17)과 같다.

$$\Delta W_s = OBC - OAD \quad (17)$$

기계적으로 출력으로 변환되는 에너지 ΔW_m 은 (18)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta W_m &= T \Delta \theta \\ &= \Delta W_e - \Delta W_s \\ &= ABCD - (OBC - OAD) \\ &= (ABCD + OAD) - OBC \\ &= OAB \end{aligned} \quad (18)$$

고정자에 일정한 전류를 인가할 경우 $\Delta \theta$ 변화 동안 행하여지는 기계적인 일 ΔW_m 은 정확하게

수반에너지의 변화분 ΔW_c 와 같다. 즉, 각 여자방식에 의해 회전자의 위치에 따라서 발생하는 순시 토크를 구하고자 할 경우 일정전류를 고정자에 인가하여 전류와 쇄교자속으로 둘러싸인 궤적의 함수인 식(15)로부터 구한 수반에너지를 이용하거나 에너지 변화분 ΔW_m 을 회전자의 위치 변화분 $\Delta\theta$ 을 나눈 것으로도 구할 수 있음을 알 수 있다.

5. 여자에 따른 구동특성 해석

SRM의 운전특성은 회전자의 위치에 따른 자기수반에너지의 영향을 받으므로 이를 예측하기 위해서는 쇄교자속을 여자전류와 회전자의 위치함수로 표현해야 한다⁽¹⁾.

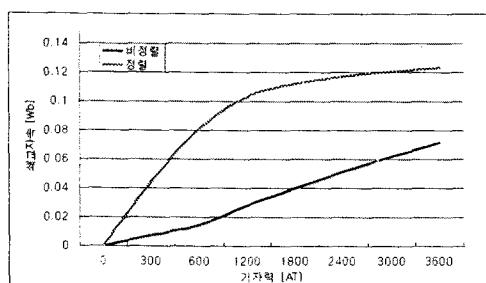
그림 7.8.9.10의 (a)는 각각 이상적인 전류를 인가할 경우 여자 형태에 따른 쇄교자속/기자력의 궤적을 나타낸 것이고, 이와 같은 여자방법을 이용할 경우 발생되는 토크는 그림 7.8.9.10의 (b)와 (c) 등에 나타내었다. 구동방식에 따른 발생 토크의 크기를 비교하기 위해 기계각을 0~45 [deg]까지 변화시켰다.

SRM에서 발생 토크는 각상의 쇄교자속/전류의 궤적으로 둘러싸여진 면적으로부터 계산할 수도 있다⁽⁸⁾. 그러나 본 연구에서는 유한요소법으로 계산하였다.

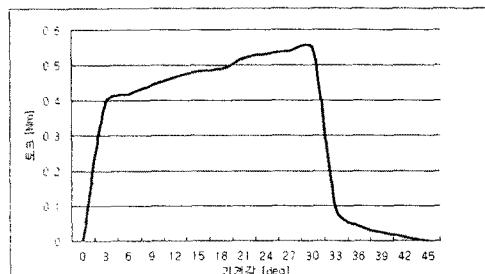
5.1 단절권 유니풀라 구동

단절권 유니풀라 구동의 경우 그림2(a)에서와 같이 u상에만 여자한 것으로서 기자력의 증가에 따른 여자 패턴은 그림 7(a)와 같다. 고정자에 감겨진 코일에 전류를 증가할 경우 발생되는 쇄교자속은 회전자가 비정렬 구간에서는 거의 선형적인 변화를 하지만, 정렬된 경우에서 쇄교자속의 변화는 기자력이 1,500[AT] 이하까지는 선형적인 변화를 하지만 그 이상에서는 포화됨을 알 수 있다.

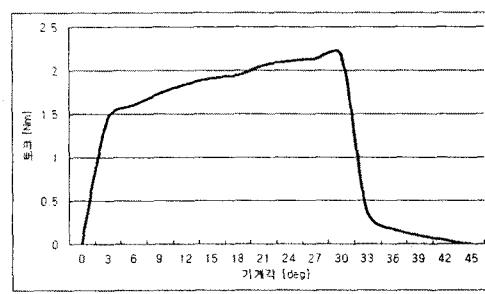
실제 발생 토크는 고정자에 3[A] 전류를 인가한 경우 전기각이 45[deg]까지 변화하는 경우 그림 7(b)에서와 같이 0.45[Nm]정도가 된다. 그러나 기자력을 다른 여자방법과 같이 포화하지 않는 범위로서 기자력이 600[AT]로 한 경우 토크는 그림 7(c)와 같이 2.0[Nm]정도로서 그림 7(b)에 비해 4배정도의 토크가 발생한다.



(a) 단절권 유니풀라



(b) 단절권 유니풀라 구동

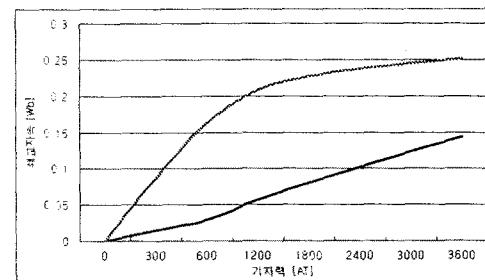


(c) 단절권 유니풀라 토크

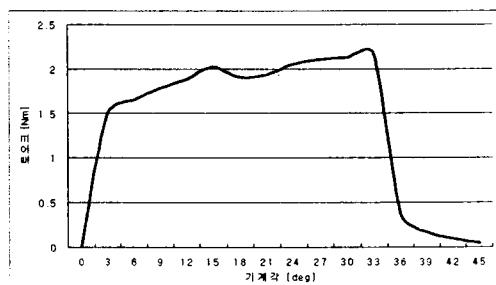
그림 7. 단절권 유니풀라 구동 쇄교자속 및 토크

5.2 전절권 유니풀라

전절권 유니풀라 구동의 경우 그림 3(a)에서와 같이 3상 중 두상에만 여자한 것으로서 기자력의 증가에 따른 쇄교자속의 변화는 그림 8(a)와 같이 비정렬 구간에서 쇄교자속은 거의 선형적인 변화를 하지만, 기자력을 증가함에 따라 정렬 구간에서의 쇄교자속은 단절권 유니풀라와 같이 1,500[AT]까지 선형적으로 변화하지만 이후부터는 포화함을 알 수 있다. 불포화 영역에서 쇄교자속이 차지하는 궤적은 단절권에 비해 거의 2배 가됨을 알 수 있다. 전절권 유니풀라 구동시 토크를 알아보기 위해 고정자에 3[A]를 인가할 때의 크기는 그림 8(c)에서 알 수 있듯이 약 2.0[Nm] 정도이다. 이 크기는 단절권의 경우에 비교해서 4배가 되는 것은 고정자에 인가되는 전류의 크기가 2배로 하였기 때문이다. 그러나 기자력이 600[AT]로 같은 경우 단절권과 전절권 유니풀라 구동시 토크 크기는 그림 7(c)와 그림 8(b)에서와 같이 거의 비슷한 크기가 됨을 알 수 있다.



(a) 전절권 유니풀라 자화자속



(b) 전절권 유니폴라 토크

그림 8 전절권 유니폴라 구동 쇄교자속 및 토크

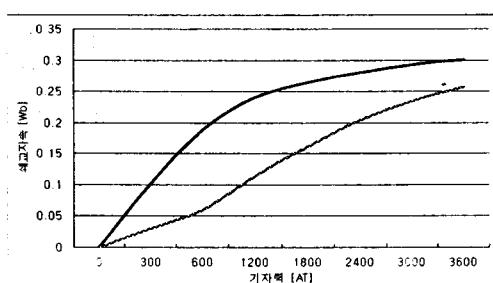
5.3 전절권 바이폴라

전절권 바이폴라 구동은 그림 4에서와 같이 3상 중 두상이 여자를하도록 하는데 부의 전류를 인가하는 방식이다.

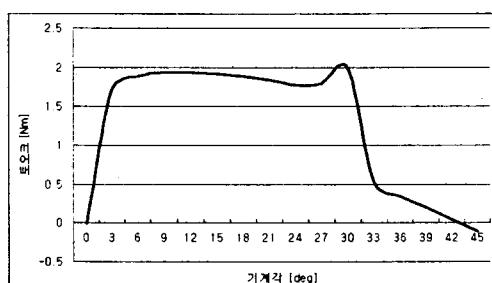
전절권 바이폴라 구동에서 두상 중 한 상은 정으로 여자되고 나머지 한상은 부로 여자될 경우 불포화 구간에서 정렬된 경우의 퍼어미언스는 전절권 유니폴라나 단절권 바이폴라와 같은 형태지만 약간 증가하며, 비정렬 구간에서의 쇄교자속은 거의 2배가 된다. 즉 정렬 구간에서의 인덕턴스 크기는 크지만, 비정렬 구간에서의 인덕턴스는 다른 방식에 비해 큰 값을 가지므로 높은 토크를 발생시키는데 장애가 될 수 있는 요소가 된다.

이와 같은 방식에서의 기자력에 대한 쇄교자속의 궤적은 그림 9(a)와 같고, 토크는 그림 9(b)와 같다.

발생 토크는 전절권 유니폴라에 비교해서 거의 변화가 없지만 맥동성분이 다소 완화됨을 알 수 있다.



(a) 전절권 바이폴라 자화곡선

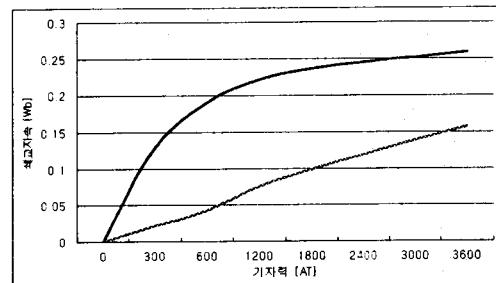


(b) 전절권 바이폴라 토크

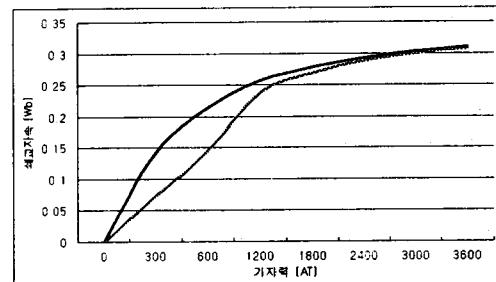
그림 9. 전절권 바이폴라 구동 쇄교자속 및 토크

5.4 전절권 구형파

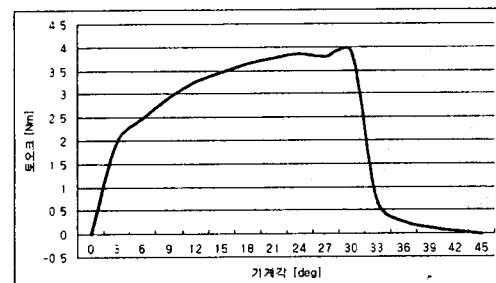
3상을 동시에 여자하는 전절권 구형파 구동방식은 그림 5(a)에서와 같이 두상(V,W)에는 정의 전류를 공급하고, 나머지 한상(U)에는 부의 전류를 공급하는 방식이다. 즉 1주기 동안 3상 모두가 통전하는 여자방식이다. 자화곡선의 면적은 다른 구동방식에 비해 커지만, 통전기간이 가장 길기 때문에 권선저항에 의한 손실이 커질 수 있다^[3.8].



(a) V, W상 자화곡선



(b) U상 자화곡선



(c) 3상 구형파 구동 토크

그림 10. 3상 구형파 구동시 쇄교자속 및 토크

이 방식의 여자는 앞서 다른 방식과는 달리 정렬된 위치에서의 쇄교자속은 상당히 높다.

그림 10(a), (b)에서와 같이 정렬된 구간에서 쇄교자속은 전절권에서와 거의 동일한 변화를 하지만, 비정렬 구간에서는 추가적으로 이용하는 권선의 기자력에 의한 영향으로는 그림 10(b)에서와 같이 쇄교자속의 일부가 포화되는 현상을 나타내고 있다. 그러나 이 둘을 합할 경우 쇄교자속의 체적을 증가한다.

같은 체적에 입력 전류가 동일 할 경우 그림 10(c)에서와 같이 발생 토크는 단절권 유니폴라 구동에 비해 거의 4 배, 전절권 유니폴라 및 바이폴라에 비해서는 2배의 토크가 발생함을 알 수 있다.

5.5 자기수반에너지에 의한 토크 특성해석

릴렉턴스 전동기에서 회전자의 극이 고정자 극과 일치하는 부분에서 어긋나는 부분까지 이동할 때 발생되는 에너지의 분포가 정현적이라고 가정할 경우 자기수반에너지 분포 곡선은 식(13)을 이용하여 나타내면 그림 11(a),(b)와 같다. 이를 회전자의 위치에 따른 토크 성분으로 표현하기 위해 식(14)면 이용하여 나타내면 그림 12(a),(b)와 같다. 그림 11(a)에서는 입력전류를 3[A]로 동일하게 한 경우의 수반에너지로서 W_d, W_c, W_a, W_d 은 각자 단절권 유니풀라, 전절권 유니풀라, 전절권 바이풀라 및 3상 구형파에 대한 에너지 분포를 의미한다. 그림 11(b)는 기자력을 600(AT)로 한 경우 회전자의 위치에 따른 에너지 분포 곡선이다. 그림 11(a)에서 알 수 있듯이 입력전류가 동일한 경우 에너지 분포는 단절권 유니풀라 구동이 가장 낮고, 전절권 구형파 구동이 가장 높은 값을 가진다. 또한 회전자와 고정자가 정렬되거나 비정렬시 가지는 에너지 값의 분포에서도 단절권 유니풀라가 가장 낮으며, 그 다음이 단절권 유니풀라, 단절권 바이풀라 그리고 가장 높은 값은 전절권 구형파 구동임을 알 수 있다. 그러나 전절권 유니풀라와 바이풀라 구동에서 최대와 최소 에너지 분포는 크기에서 차이가 있으나 변화율에서는 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

그림 11(b)에서와 같이 상당 기자력이 동일할 경우 에너지의 분포를 보면 3상 구형파여자 방식에서 가장 높은 에너지를 나타내며, 단절권 유니풀라나 전절권 유니풀라에서는 에너지 변화비가 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 전절권 바이풀라의 경우 유니풀라 구동에 비해 에너지 성분은 조금 높게 나타난다.

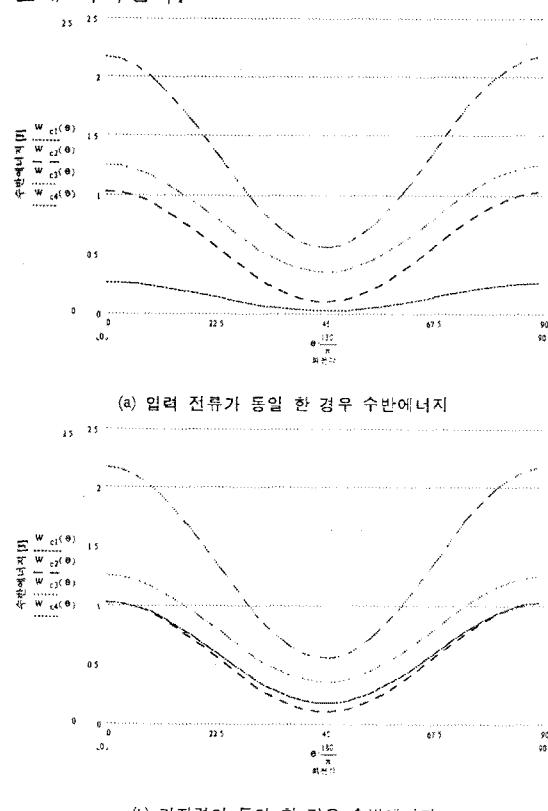
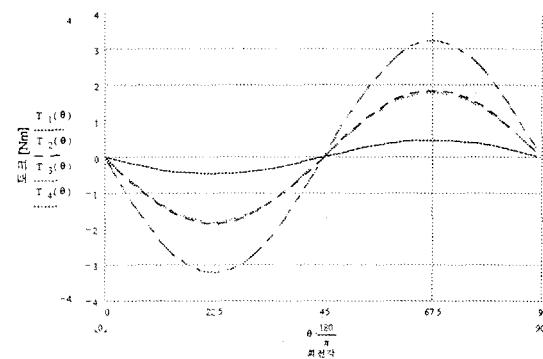
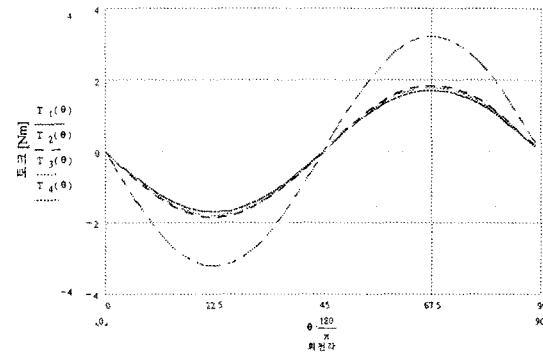


그림 11. 수반에너지의 크기 비교



(a) 입력전류가 동일한 경우



(b) 기자력이 동일한 경우

그림 12. 회전자의 위치에 따른 토크 크기비교

그림 12는 그림 11에서 구한 수반에너지의 분포를 회전자의 위치에 따른 크기를 동일한 전류값과 기자력에 대해 서 나타낸 것이다. 이 그림에서 T_1, T_2, T_3, T_4 은 각자 단절권 유니풀라, 전절권 유니풀라, 전절권 바이풀라 및 3상 구형에 대한 토크를 의미한다.

그림 12에서 토크 특성을 보면 입력전류가 동일한 경우 단절권 유니풀라 구동시가 가장 낮은 값을 나타내며, 전절권 구형파 구동이 가장 높은 값을 나타낸다. 그림 12(a)에서 전절권 유니풀라와 바이풀라 구동의 경우 같은 크기의 토크 값을 가지는 것은 그림 11에서 알 수 있듯이, 에너지 크기에서는 차이가 있지만 인덕턴스 변화비에 차이가 없기 때문이다. 같은 그림 12(b)에서 같은 기자력에 대해 유니풀라 구동이나 바이풀라 구동 모두 같은 크기의 토크를 가지지만, 3상 구형파 구동에서는 이보다 상당히 높은 거의 2배에 가까운 토크를 나타냄을 알 수 있다.

리렉턴스 전동기에서 발생하는 토크는 고정자 권선에서 본 인덕턴스의 위치 변화에 의한 변화율에 비례하므로 그림 11에서와 같이 자기 수반에너지의 최대 최소값이 큰 전절권 구형파 구동이 가장 높은 토크를 발생할 수 있다는 것을 알 수 있다. 전절권 유니풀라와 바이풀라 구동의 경우 바이풀라 측이 수반에너지는 큰 값을 가지고 있으나 최대와 최소값의 변화가 일정하여 토크의 크기에는 거의 영향을 주지 못함을 알 수 있다. 따라서 고정자와 회전자가 일치하는 부분에서의 최대 인덕턴스와 회전자가 고정자극 사이에 위치하는 부분에서의 최소 인덕턴스의 차를 크게 설계하는 것이 높은 토크를 발생할 수 있다는 것을 알 수 있다.

6. 결론

여자 방법에 따른 SRM의 동작특성을 정확하게 해석하기 위해서는 권선 단부에 대한 영향을 고려하여야 하나 여기서는 해석의 편리를 위해 2 차원 해석만을 실시하였다. 고정자의 권선법 및 권선에 인가되는 전류에 의한 여자 패턴의 종류에 따라 쇄교자속 및 토크의 크기를 비교 해석한 결과 같은 입력전류 조건에서 단절권 유니플라를 기준으로 전절권의 경우 4배의 토크가 발생하며, 3상 구형파 방식에 의한 여자일 경우 토크는 단 절권에 비해 4배에 가까운 토크가 그리고 포화하지 않는 조건에서 같은 기자력에서 회전자의 위치에 따른 토크 크기 비교에서 단절권 및 전절권 모두 같은 크기의 토크를 발생하나. 전절권 구형파의 경우 다른 방식에 비해 토크 크기는 거의 2 배에 가깝게 발생한다는 것을 알 수 있었다.

앞으로는 이와 같은 여자패턴의 특성에 따른 보다 정확한 특성해석을 위해 단부 효과와 손실분을 고려한 3차원 해석 및 토크 맥동분을 줄이기 위한 연구도 함께 이루어져야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이민명, “특수동기전동기”, 대한전기학회지, 제42권, 12호, pp.52-64, 1993
- [2] 문재원, 오석규, 안진우, 황영문, “상호인덕턴스를 이용한 전절권 SRM의 운전특성”, 대한전기학회논문지, 제 47 권 9호, pp.1364-1370, 1998
- [3] 比田一外 4人, “全節巻スイッチトリラクタンスマータの勵磁方式の影響”, 日本電氣學會產業應用部門全國大會, pp.7-10, 平成 8年
- [4] Chi-Yau Wu & Charles Pollock, "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise on the Switched Reluctance Drive", IEEE Trans on IAS, Vol.31, No.1, pp.91-98, Jan/Feb 1995
- [5] 日本電氣學會 技術報告書 第 719號, “リラクタンストルク應用 電動機と制御 システム”, 1992.2
- [6] Graham E.Dawson et al., "Switched Reluctance Motor Torque Characteristics : Finite Element Analysis and Test Results", IEEE Trans on IAS, Vol.23, No.3, pp.532-536, May/Jun 1987
- [7] P.J.Lawrenson et al., "Variable Speed Switched Reluctance Motors", IEE, Pt.B, Vol.127, No.4, pp.253-265, Jul 1980
- [8] B.C.Mecrow, "Fully pitched-winding switched reluctance and stepping motor arrangements", IEE pt.B, Vol.140, No.1, pp.61-70, Jan.1993
- [9] R.Arumugan et al., "Magnetic Field Analysis of a Switched Reluctance Motor using a Two Dimensional Finite Element Model", IEEE Trans on Mag, Vol.21, No.5, pp.1883-1885, Sep,1985