

리럭턴스 전동기의 회전자 구조에 따른 자속밀도 해석

金宗謙 李殷雄

원주대학 충남대학교

The Analysis of Flux density by Reluctance Motor Rotor Type

Jong-Gyeum Kim, Eun-Woong Lee

Wonju College Chungnam Univ

Abstract - This paper has proposed various rotor type model to analyze the performance of Reluctance motor. The simulation results show that the proposed models have not revealed performance variation.

1. 서론

교류동기전동기의 일종인 리럭턴스 동기전동기(Reluctance Synchronous Motor : RSM)은 자속이 재질을 통과할 때 자기저항을 최소화하는 방향으로 통과하도록 설계하여 힘이 발생하도록 개발된 전동기이다. 이 전동기의 고정자는 일반 유도전동기의 구조와 같이 3상권선에 의해 회전자계를 발생시키고, 회전자는 불평형 자기회로를 구성하는 철심으로 구성되는데, 다른 전동기의 회전자에 비해 구조가 간단하고, 제작이 편리하며 체계적 출력력이 큰 장점을 가지고 있어 사용이 증가할 것이다.

이 전동기의 회전자는 그 형상에 의해 서로 다른 두 퍼어미언스(d,q)를 가진다. 이 두 축의 퍼어미언스는 자로에 따라 약간의 차를 발생시킨다. 이와 같은 구조상의 영향에 의해 발생하는 두 퍼어미언스의 차($P_d - P_q$)와 비율(P_d/P_q)은 기기의 특성을 결정하는 중요한 파라미터가 된다[1,2,3,4]. 그래서 본 논문에서는 회전자의 구조에 따른 리럭턴스 변화가 전동기의 특성에 미치는 영향을 규명하기 위해 3가지 구조의 회전자를 선정하여 각각의 자속밀도를 해석하였다.

2. 리럭턴스 전동기의 구조

리럭턴스 전동기의 고정자는 유도전동기의 고정자를 그대로 사용할 수 있으며 회전자는 고정자에 의한 자속의 변화를 효과적으로 이용하기 위해 스위치드 리럭턴스 모터의 돌극과 같은 구조를 가진 것과 퍼어미언스의 차를 이용하기 위해 원통형에 자속벽(flux barrier)을 둔 것이 있다. 고정자 권선의 인덕턴스(L)는 회전자의 각변위의 함수로서 공극이 좁은 영역 즉, 자기저항이 최소

가 되는 d축은 L_d 이고, 공극이 가장 크게되어 자기저항이 최대일 때 최소가 되는 q축은 L_q 가 된다. 이와같이 인덕턴스의 직축과 횡축의 비율(돌극비 L_d/L_q)이 큰것이 일반전동기와 다른 동기 리럭턴스 전동기의 특징이다. 이 돌극비를 잘 이용하면 전동기의 특성이 향상되고 식(1)과 같이 높은 역율을 얻을 수 있다.

$$PF_{max} = \frac{L_d/L_q - 1}{L_d/L_q + 1} \quad (1)$$

또한 돌극비가 높을수록 인버터 구동 기기의 기기정격용량과 동손을 감소할 수 있는 것으로 알려져 있다[1].

2.1 회전자 형상

발생 토오크의 증대, 효율 및 역률의 향상을 위해 여러 가지 회전자 구조의 연구가 이루어져왔는데 [1,2] 가장 효율적인 회전자 구조가 축 적층(axial laminated)형식으로 밝혀졌다. 본 연구에서 그림 1과 같이 편칭구조인 (a)와 (c), 축방향 적층 구조인 (b)의 회전자 구조를 선정하여 자속밀도 분포를 해석하였다.

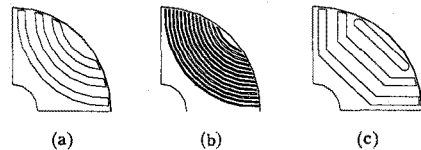


그림 1. 회전자의 구조

2.2 자기특성

그림2는 고정자가 2층권, 분포권의 3상4극 유도전동기와 같은 구조로 된 해석용 전동기의 횡단면도이다. 3상 고정자 권선 전류의 합성벡터 i 를 d-q축 모델로 나타내면 벡터전류 i 의 d축에 대한 기계각이 θ_e 일때 d축 전류 i_d 와 q축 전류 i_q 를 전기각으로 나타내면 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} i_d &= |i| \cdot \cos(3\theta_e) \\ i_q &= |i| \cdot \sin(3\theta_e) \end{aligned} \quad (2)$$

3상권선전류 i_u, i_v, i_w 는 u 상의 고정자 권선위치를 기준으로 회전자의 d축 위치를 기계각 θ_m 일때 식(3)과 같다.

$$\begin{cases} i_u = \frac{2}{3} \cdot |i| \cdot \cos(3\theta_m + 3\theta_e) \\ i_v = \frac{2}{3} \cdot |i| \cdot \cos(3\theta_m + 3\theta_e + 120^\circ) \\ i_w = \frac{2}{3} \cdot |i| \cdot \cos(3\theta_m + 3\theta_e + 240^\circ) \end{cases} \quad (3)$$

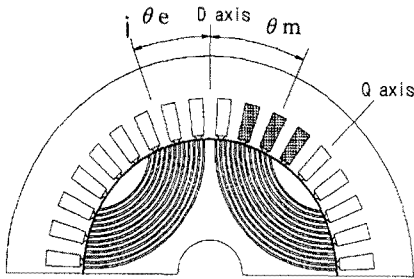


그림 2. 전동기의 단면도

3. 유한요소법에 의한 자계해석

해석하고자 하는 리럭턴스 전동기의 고정자에 인가되는 전류 \vec{J}_0 와 자계가 시변이므로 이를 고려한 지배방정식을 도입하여야 한다. 공극에 나타나는 합성자계 \vec{H} 는 변위전류를 고려하지 않을 경우 암페어의 법칙에 따라 전류밀도 $\vec{J}_0 + \vec{J}_e$ 에 의해 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_0 + \vec{J}_e \quad (4)$$

여기서 회전자의 유도 전류밀도 \vec{J}_e 는 식(5)와 같다.

$$\vec{J}_e = \sigma \vec{E} \quad (5)$$

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{1}{\mu} \nabla \times A \quad (6)$$

전계 \vec{E} 는 보존계이므로 식(7)과 같다.

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \nabla \phi \quad (7)$$

여기서 $\nabla \phi$ 는 와전류에 의한 전계를 결정하기 위한 보정항이다.

따라서 유도전류밀도 \vec{J}_e 는 식(7)을 식(5)에 대입하여 정리하면 식(8)이 된다.

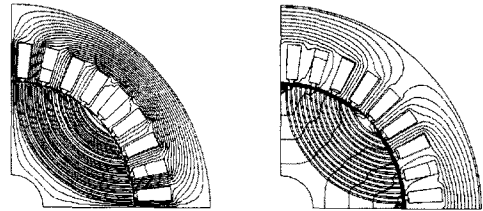
$$\vec{J}_e = -\sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \sigma \nabla \phi \quad (8)$$

식(6)과 (8)을 식(4)에 대입하면 식(9)와 같은 벡터 포텐셜에 의한 지배방정식을 구할 수 있다.

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) + \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \sigma \nabla \phi - \vec{J}_0 = 0 \quad (9)$$

4. 특성해석

그림3은 유한요소법에 의한 자속의 패턴을 나타낸 것이다. 회전자 내부에 슬릿을 마련하는 것에 의해 자속의 통과가 쉬운 d축과 통과가 어려운 q축 방향이 생겨 고정자에서 발생하는 회전자계가 d축부분으로 흡인되고, 회전자의 회전수는 고정자 전류의 주파수에 동기할 수 있게 된다.



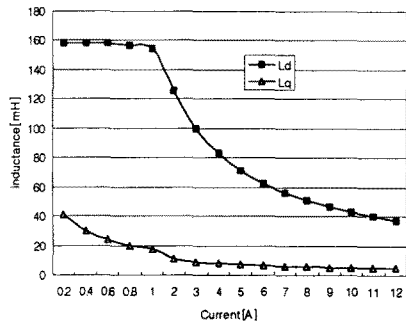
(a) 1[A]일 경우 d축 자속선도

(b) 1[A]일 경우 q축 자속선도

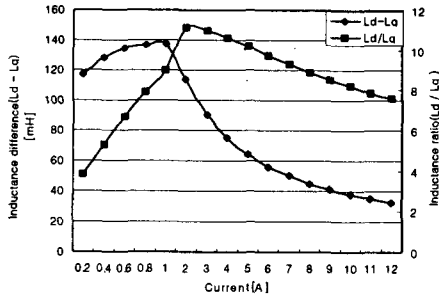
그림 3. 자속선도

그림3에서와 같은 자속패턴일 경우 회전자의 구조에 따라 여자전류를 변화할 경우 퍼어미언스는 어떻게 변화하는가를 알아보는 것이 중요하다.

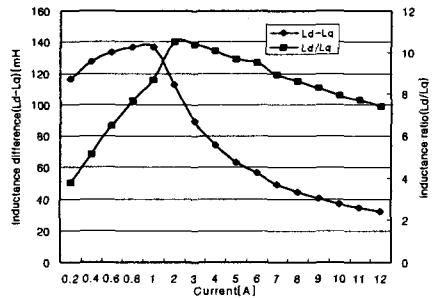
그림4~6는 그림1의 (a),(b),(c)의 모델에 대한 d,q 축의 L_d , L_q 와 $L_d - L_q$, L_d/L_q 를 나타낸 것이다. L_d 는 i_d 의 증가에 따라 1.0[A]까지는 아무런 변화를 나타내지 않다가 이후부터는 포화의 영향으로 감소하기 시작함을 알 수 있다. 또한 L_q 는 i_q 의 변화에 대해서 거의 큰 변화를 나타내지 않음을 알 수 있다. 정격전류에 있어 돌극비(L_d/L_q)는 약 9배로 큰 돌극비를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또 인덕턴스차($L_d - L_q$)는 대략 120[mH]가 된다.



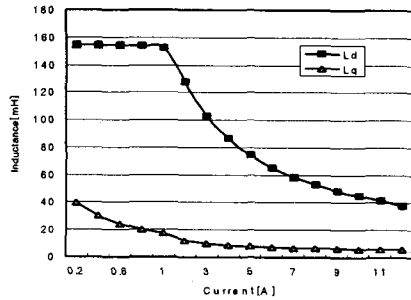
(a) 모델1의 d,q 축 인덕턴스



(b) 모델1의 d,q축 인덕턴스차와 돌극비
그림 4. 모델1의 인덕턴스 변화곡선



(b) 모델3의 d,q축 인덕턴스차와 돌극비
그림 6. 모델3의 인덕턴스 변화곡선



(a) 모델2의 d,q축 인덕턴스

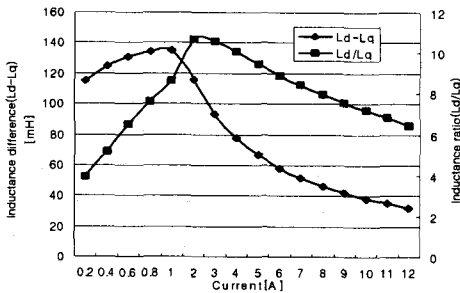
회전자의 형상에 따라 i_d 에 대해서는 L_d , i_q 에 대해서는 L_q 의 변화를 나타낸 것이다.

5. 결론

회전자 내부에 슬릿을 만들어 자속의 통과가 쉬운 d축 방향과 통과가 어려운 q축 방향을 만들어 전동기의 특성을 향상시킬 수 있는 방법을 찾기 위해 3가지 구조의 회전자에 나타나는 특성변화를 계산하였다.

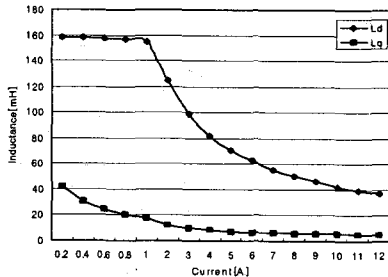
해석결과 기존의 회전자를 편칭하여 축 방향으로 적응하는 것이나, 편칭하지 않고 축방향으로 적응하는 것을 비교 해석한 결과 큰 특성변화를 나타내지 않는다는 것을 알 수 있었다.

6. 참고문헌



(b) 모델2의 d,q축 인덕턴스차 및 비율
그림 5. 모델2의 인덕턴스 변화곡선

- [1] “초고속 전동기 특성 및 구동방식에 관한 연구”, 기초전력공학공동연구소 보고서, 1998.9
- [2] 梨木政行의 4인, “スリット回轉子を用いたフラックスバリア型 reluctance 모터의 磁界解析と試作實驗”, 日本電氣學會論文誌 D 권, Vol.116, No.6, pp.694-701, 1996
- [3] I.Bolda, "Reluctance Synchronous Machine and Drives", Clarendon Press · Oxford, 1996
- [4] 이중호외2인, “단편형 회전자 구조 동기형 릴럭턴스 전동기와 유도전동기의 특성비교에 관한 연구”, 전기학회논문지 47권, 9호, pp.1343-1350, 1998



(a) 모델3의 d, q축 인덕턴스