

IPMSM의 인덕턴스 산정에 관한 연구

이진규, 권순오, 손도, 김해중, 홍정표
한양대학교 자동차공학과

A study on Inductance calculation in Interior Permanent Magnet Synchronous Motor

Jin-Gyu LEE, Soon-O Kwon, Tao Sun, Hae-Joong Kim, Jung-Pyo Hong
Department of Automotive Engineering, Hanyang University

Abstract - This paper improves the calculating method about the inductance with the high order frequency coreloss. It is different in which the analyzed inductance for calculating IPMSM and the measured thing for experiment. Due to this phenomenon, the expected input voltage differs from the inquired input voltage for operating the motor. This results from the coreloss margin which have both the 1st order and high order frequency value. For reducing the inductance error, after calculating the equivalence coreloss resistance with having the 1st order frequency Back-EMF and coreloss, designing the inductance with the high order frequency which occurred by the coreloss of high order frequency, and comparing the renovated inductance analysis value with the measured thing.

1. 서 론

산업기술이 고도화됨에 따라 사람에게 편리를 제공하는 가전제품과 기계도 눈부신 발전을 했다. 이렇게 전자제품들의 품질이 향상됨에 따라 고성능 모터가 요구되고 있다. 이러한 요청을 만족시키기 위해서 영구자석 동기 전동기(PMSM)가 각광받고 있다. PMSM은 크게 표면 부착형 영구자석 동기 전동기(SPMSM)와 매입형 영구자석 동기전동기(IPMSM)으로 나눌 수 있다. SPMSM에 비해서 IPMSM은 톨럭턴스 토크를 추가로 확보 하게 된다. 즉, 단위 부피당 출력이 커지기 때문에 고출력 전동기에 적합하다. 그러나 이러한 고출력을 확보하기 위해서 설계 및 제어가 SPMSM에 비해서 어려우며 설계할 때 회전자 리브에서 발생하는 누설 자속을 해석하기 힘들다.

기존에 IPMSM 설계단계에서 철손저항을 산정할 때 고조파 철손을 포함하여 구하였다. 그 결과 철손 저항 값이 작게 해석되었고 실험 결과 값과 오차가 발생하였다. 이를 보완하기 위해서 철손 저항을 구할 때 특정 속도에서 기본파 역기전력과 철손으로 구한 후 이를 다시 고조파 철손으로 나누어 주어 고조파 역기전력을 구한다. 고조파 역기전력을 고조파 인덕턴스에 반영하여 등가회로상 기본파 인덕턴스와 직렬 회로로 연결하여 해석한다. 이렇게 하여 해석된 인덕턴스와 실험으로 얻은 인덕턴스를 비교한다.

2. 본 론

2.1 해석 이론

IPMSM 기본파 성분의 인덕턴스를 산정하기 위해서 Flux Linkage Vector Method(FLVM)를 이용하였다. 그리고 철손 고조파를 고려한 인덕턴스를 산정하기 위해서 철손을 포함한 벡터도 및 등가회로를 이용하였다.

2.1.1 Flux linkage vector method

d, q축 인덕턴스를 산정하기 위해서 FLVM가 널리 이용된다. FLVM는 무부하 쇄교자속(ψ_{a1st})과 부하 쇄교자속(ψ_{o1st})의 기본파와 무부하, 부하의 쇄교자속의 위상차(α)로 d, q축 인덕턴스를 산정한다. 식 (1) <그림1>

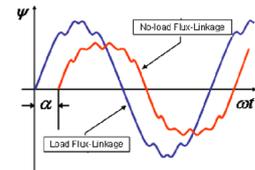
이때 인덕턴스는 기본파 성분이다. FLVM으로 계산된 인덕턴스는 실험값 인덕턴스와 비교하면 오차를 포함하고 있는 것을 알 수 있다. <그림 2>

2.1.2 철손 고조파와 고조파를 고려한 인덕턴스 산정

FLVM로 산정된 인덕턴스 값과 실험치 인덕턴스의 차이를 고려하기 위해서 철손에서 발생하는 고조파 성분을 고려하였다. 철손을 고려하게 될 경우 IPMSM의 벡터도는 <그림 3>와 같이 나타낼 수 있다.

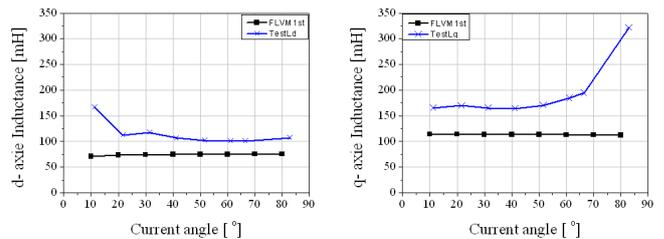
인버터에서 바라보는 인덕턴스를 산정하기 위해서 전기가 전압부터 수식을 유도하였다. 이때 전류는 기본파 성분만 있으며 기본파 성분과

고조파 합은 위상이 같다고 가정하였다.

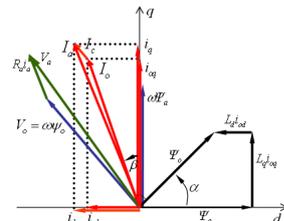


<그림 1> A상 쇄교자속 파형

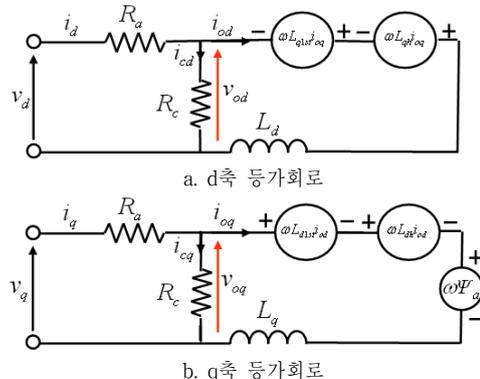
$$L_d = \frac{\psi_{o1st} \cos \alpha - \psi_{a1st}}{i_d}, \quad L_q = \frac{\psi_{o1st} \sin \alpha}{i_q} \quad (1)$$



<그림 2> FLVM으로 산정된 인덕턴스와 실험으로 산정된 인덕턴스



<그림 3> 철손 전류를 포함한 IPMSM 벡터도



<그림 4> IPMSM의 등가회로

전기자전압은 기본파 성분과 고조파 성분으로 나눌 수 있다. 식 (3)에서 V_{ah} 는 n차 고조파성분 전기가 전압이다. 전기가전압은 유기전압

로 나타 낼 수 있는데, 이때 전기자 권선 저항으로 인한 전압 강하는 전류가 기본과 성분만 있다고 가정하였으므로 기본과 성분만 발생한다. 그러므로 전기자 전압의 고조파 성분과 유기전압의 고조파 성분은 같게 된다.

식 (4) V_{oh} 는 n차 고조파 유기전압이다. 철손역시 기본과 성분과 고조파 성분으로 나눌 수 있다. 기본과 성분과 고조파성분으로 나누어진 철손은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

식 (5)에서 W_i 는 철손이다. 식 (5)에서 다시 d, q축 인덕턴스에 대하여 정리하면 식 (6), (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_a = V_{a1st} + \sum_{h=2}^n V_{ah} \quad (3)$$

$$\sum_{h=2}^n V_{ah} = \sum_{h=2}^n V_{oh} \quad (4)$$

$$W_i = \frac{(V_{od1st} + \sum_{h=2}^n V_{odh})^2 + (V_{oq1st} + \sum_{h=2}^n V_{oqh})^2}{R_c} \quad (5)$$

$$\sum_{h=2}^n L_{dh} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n W_{ih} \cdot R_c \cdot \cos \alpha}}{\omega \cdot i_{od}} - \sum_{h=2}^n \psi_{ah} \quad (6)$$

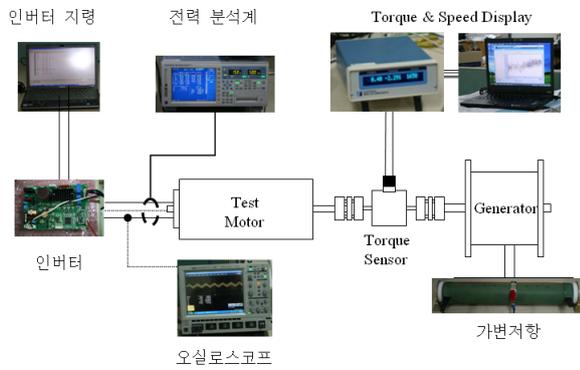
$$\sum_{h=2}^n L_{qh} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n W_{ih} \cdot R_c \cdot \sin \alpha}}{\omega \cdot i_{oq}} \quad (7)$$

식 (6), (7)을 이용하여 산정된 d, q축 고조파 인덕턴스에 Flux linkage vector method로 산정된 기본과 인덕턴스를 더하여 d, q축 인덕턴스를 산정하였다. 식 (8)

$$L_d = L_{d1st} + \sum_{h=2}^n L_{dh}, \quad L_q = L_{q1st} + \sum_{h=2}^n L_{qh} \quad (8)$$

2.2 실험적 인덕턴스 검증

산정된 인덕턴스를 검증하기 위해서한 장비구성은 <그림 5>과 같이 하였다.



<그림 5> 인덕턴스 검증을 위한 실험장비 구성

2.2.1 대상 전동기

대상전동기는 컴프레서 구동용 IPMSM을 이용하였다. 사양은 <표 1>과 같으며 형상 및 치수는 <그림 6>과 같다.

2.2.2 인덕턴스 검증

d, q축 인덕턴스는 0.5Arms 3000rpm, 0.75Arms 3000rpm 조건에서 비교 되었다. 대상은 FLVM으로 산정된 값, 철손 고조파 성분을 포함한 값, 실험에서 측정된 값 이렇게 세 가지 인덕턴스를 비교 하였다. 이때 오차율은 <그림 9>에 나타내었다.

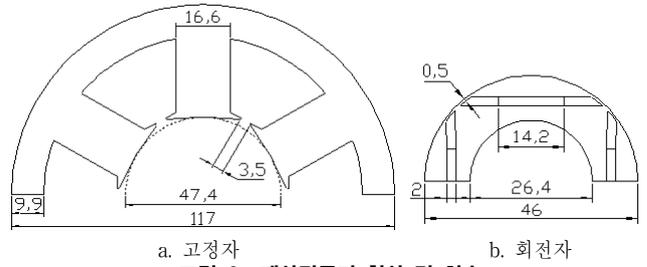
실험결과와 비교하였을 때 철손 고조파를 포함한 인덕턴스로 구동상태의 전기자 고조파 전압을 예측 할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결 론

기존의 인덕턴스 해석치와 측정치의 오차에 의해서 발생하는 전압강하 차이를 개선하기 위해서 고조파 철손 및 인덕턴스를 고려하였다. 그리고 벡터도와 등가회로에 이를 반영하여 3000rpm에서 해석 및 실험을 하고 비교 분석 하였다. 향후 다양한 전동기 및 속도에서 해석 및 실험을 하여 인덕턴스를 비교하고 파라미터를 비교할 것이다.

[참 고 문 헌]

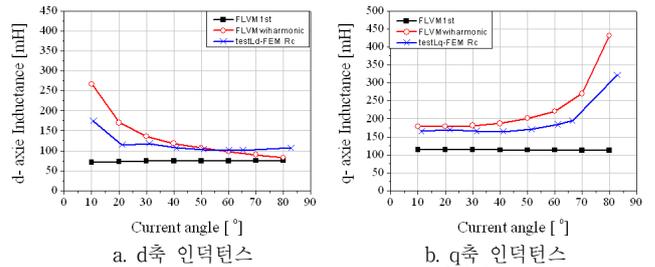
- [1] 이석희, “주 운전영역을 고려한 냉장고 컴프레서 구동용 IPMSM의 고효율 설계”, 대한전기학회, CD, 991-992, 2007
- [2] Ichiro Miki, “A Sensorless Drive Method for Switched Reluctance Motor Based on Gradient of Phase Inductance”, ICEMS, Volume 2, 615-618, 2003
- [3] T.J.E. Miller, “Calculation of inductance in permanent magnet DC motors”, IEE Proceedings, Volume 146, 129-137, 1999
- [4] Nee, H.-P., “Determination of d and q Reactances of Permanent Magnet Synchronous Motors Without Measurements of the Rotor Position”, IEEE Transactions, Volume 36, 1330-1335, 2000



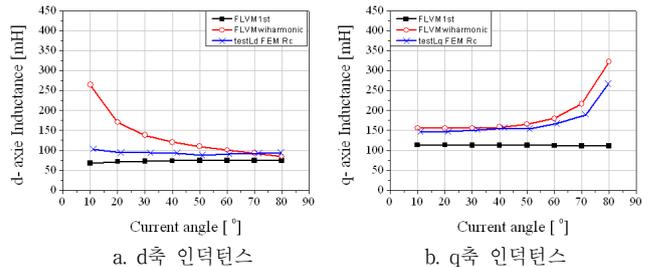
<그림 6> 대상전동기 형상 및 치수

<표 1> 대상전동기 사양

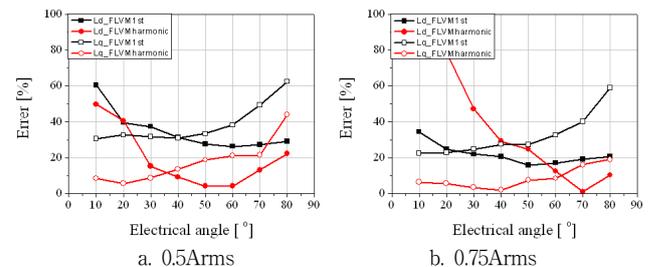
극수	4
영구자석 잔류자속밀도 [T]	1.2 @25°C
고정자 외 직경 [mm]	117.0
회전자 내 직경 [mm]	46.0
공극 길이 [mm]	0.7



<그림 7> 0.5Arms 3000rpm 인덕턴스



<그림 8> 0.75Arms 3000rpm 인덕턴스



<그림 9> 인덕턴스 산정방법에 따른 오차율