

철손을 고려한 자기저항 동기전동기의 정수 측정 및 동특성 예측

이 정 섭* . 홍 정 표* . 한 성 진** . 주 수 율**

*동아대학교 대학원 전기공학과 석사 과정, **동아대학교 전기공학과 교수

Parameter Measurement and Dynamic Performance Estimation of Synchronous Reluctance Motor Considering Iron Loss

J.S.Lee, J.P.Hong, S.C.Hahn, S.W.Joo

Dept. of Elec. Eng Dong-A Univ.

schahn@daunet.donga.ac.kr

Abstract - This paper presents dynamic performance prediction using Matlab / simulink after parameter estimation of synchronous reluctance motor considering iron loss. Test motor is 3 phase SynRM with the segmental rotor, rating power is 0.175KW. Experiment equipment is consists of testing motor, dynamometer, vector inverter dynamocontroller, and power analyzer. The stator iron loss and rotor iron loss are modelled by additional windings on three-phase winding axis. These windings are transformed into d-q axis, and are represented as equivalent eddy current windings. P-Q circle diagram method and single phase standstill method are used to measure motor parameters considering iron loss

본 논문에서 사용한 시험장치의 구성도는 그림1과 같다.

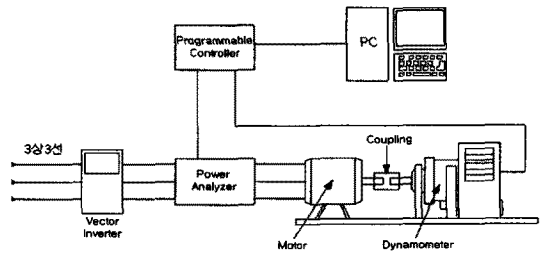


그림 1. 실험장치 구성도

1. 서 론

자기저항 동기전동기는 구조적인 면에서 회전자 권선이 없으므로 간단하고 고장이 적어 신뢰도가 높으며 직류 전동기의 취약점중의 하나인 브러시와 정류자가 없기 때문에 유지보수가 용이하다. 또한 유도전동기에 비해 회전자에 발생하는 손실이 없기 때문에 장시간 운전이 필요하거나 기동과 정지가 빈번한 경우에도 유리하다. 그리고 고정자에서만 열이 발생하므로 냉각특성도 우수하며 회전자의 d축과 q축의 인덕턴스의 차나 비를 크게 하므로써 토크특성이나 역률을 개선시킬 수 있기 때문에 회전자 설계에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그렇지만 철손 및 포화에 따라 의해 위상변위가 발생하고 이에따른 토크의 비선형성이 나타날 수 있다. [1] 본 논문에서는 정수값 및 철손값을 각 전압 및 주파수변동에 따라 P-Q 다이어그램 및 단상 standstill test에 의해 추출하였으며 이 값을 검증하기 위하여 Matlab/Simulink로 동특성을 예측하였다.

2.2 P-Q circle diagram test

P-Q 다이어그램은 자기저항 동기전동기가 동기속도로 구동되는 상태에서 외부부하가 점진적으로 가해질 때 측정할 수 있다. 그때 외부부하에 따른 유효전력과 무효전력이 구해진다. 이 측정값에서부터 P-Q 다이어그램을 그릴 수 있고 고정자의 정수는 그림 3과 같이 P-Q 다이어그램의 반지름과 원점으로부터 얻을 수 있다.

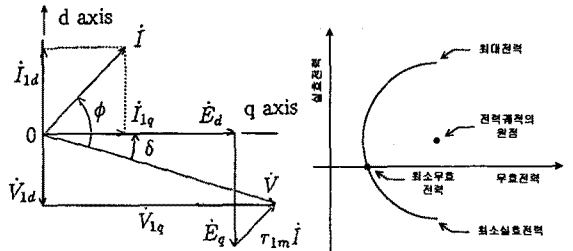


그림 2. 페이서 다이어그램 그림 3. 전력 원선도

2. 자기저항 동기전동기의 정수측정 [2]

2.1 실험장치 구성도

시험장치는 Dynamometer, Power analyser, Dynamometer controller, Vector inverter로 구성되어 있으며, 이 실험 장치를 이용하여 P-Q 다이어그램 및 standstill test을 행하였다. dl 실험을 통해 얻어진 데이터는 PC에 설치된 전용 인터페이스 카드로 전송하여 처리하였다.

식 (1)를 식 (2)에 대입하면 부하각 δ 에 대한 유효전력과 무효전력은 다음과 같다.

$$\begin{cases} P = P_0 A \sin(2\delta) \\ Q = Q_0 A \cos(2\delta) \end{cases} \quad (1)$$

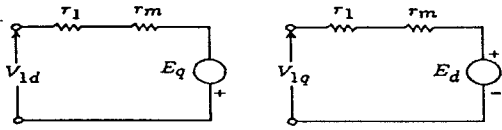


그림 4. 정상상태의 등가회로

$$\text{여기서 } P_0 = \frac{r_{1m}}{(r_{1m}^2 + X_{1d}X_{1q})} V^2 \quad (2)$$

$$Q_0 = \frac{(X_{1d} + X_{1q})}{2(r_{1m}^2 + X_{1d}X_{1q})} V^2 \quad (3)$$

$$A = \frac{(X_{1d} - X_{1q})}{2(r_{1m}^2 + X_{1d}X_{1q})} V^2 \quad (4)$$

V : 상전압 I : 상전류 δ : 부하각 r_1 : 고정자저항
 r_m : 철손저항 r_{1m} : 등가철손저항

식 (5)에서 다음과같은 원의 방정식을 얻을 수 있다.

$$(P - P_0)^2 + (Q - Q_0)^2 = A^2 \quad (5)$$

입력전압의 주파수가 일정하다고 하면 직축과 횡축의 동기리액턴스와 고정자의 저항손은 일정할 것이며, 입력전압의 크기가 일정하면 위의 식들로부터 P_0 , Q_0 그리고 A 도 일정할 것이다. 그러므로 다음식과 같이 철손저항 r_m , 직축 횡축 리액턴스 X_d, X_q 를 구할 수 있다.

$$r_m = \frac{P_0 V^2}{P_0^2 + (Q_0 + A)(Q_0 - A)} - r_1 \quad (6)$$

$$X_d = \frac{Q_0 + A}{P_0} \frac{P_0 V^2}{P_0^2 + (Q_0 + A)(Q_0 - A)} \quad (7)$$

$$X_q = \frac{Q_0 - A}{P_0} \frac{P_0 V^2}{P_0^2 + (Q_0 + A)(Q_0 - A)} \quad (8)$$

2.3 Single phase standstill test [3]

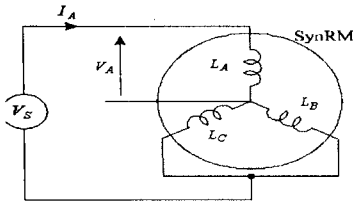


그림 5. 직접 측정법

그림 5와같이 단상의 교류전압을 a상에 인가하게되면 동상이며 같은크기의 전압이 b상 혹은 c상에 유기된다. 이 때에 standstill상태를 초래하며 a상과 b,c상 중 큰 전압이 유기되는 쪽이 d축이되며 작은 전압이 유기되는 쪽이 q축이 된다. 따라서, 상호리액턴스 X_{md} 는 식(9)과 (10)에 의해 구해질 수 있으며 X_{mq} 도 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$X_{md} = \frac{r_m(K_{pd} - r_1 - r_m)}{X_{1d} - K_{Qd}} \quad (9)$$

$$K_{pd} = \frac{V_{1d}^2}{P_d}, K_{Qd} = \frac{V_{1d}^2}{Q_d}, Q_d = \sqrt{(V_{1d}I_{1d})^2 - P_d^2} \quad (10)$$

$V = V_{1d}$:상전압, $I = I_{1d}$:상전류, P_d 유효전력

3 측정결과 및 검토

P-Q circle diagram test에의해 얻은 측정값을 이용하여 계산한 I_d, I_q 값을 그림 6에 나타내었다.

그리고 정격전압에 가까울수록 줄어드는 철손저항값을 그림 8에서 확인 할 수 있고, 그림 9에서 d축 리액턴스가 더 급격한 감소를 나타내는데 이유는 회전자 재질의 포화에 따른 변화로 해석할 수 있으며 이 그림을 통해서 d축 리액턴스값이 출력토크의 변화에 영향을 끼침을 알 수가 있다.

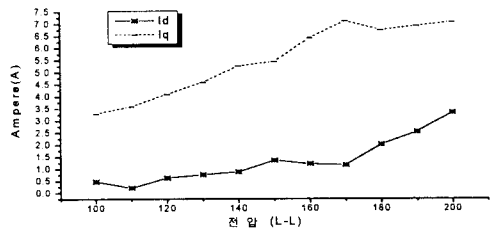


그림 6. 고정자 d, q축의 전류 측정치

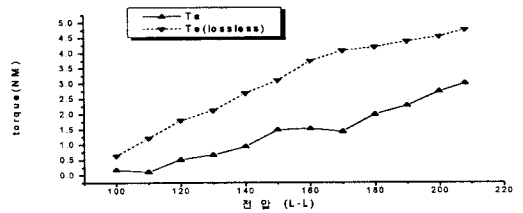


그림 7. 입력전압 변화에 따른 토크

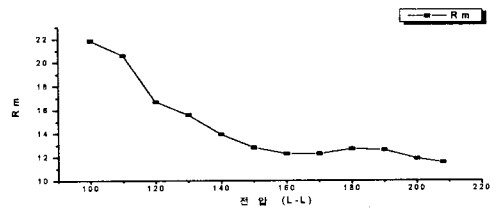


그림 8. 입력전압 변화에 따른 고정자 철손저항

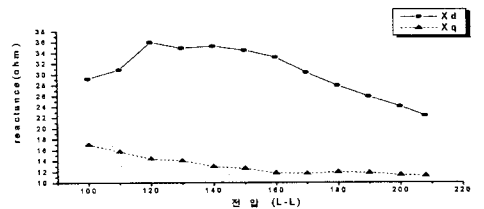


그림 9. 입력전압 변화에 따른 d,q축 리액턴스

Single phase standstill test에 의해 얻은 측정값을 이용하여 d,q축 상호 리액턴스성분을 그림 10에 나타내었다. 자기저항 동기전동기는 회전자에 전류가 흐르지 않아서 회전자의 표면에는 자속의 고조파에 의한 와류가 존재하고 이에 따른 추가적인 손실이 발생되는데 이 추가적인 손실에 영향을 끼치는 성분이 상호 리액턴스성분이다. 그렇지만 정격전압에 가까울수록 $X_{md} - X_{mq}$ 가 커지고 결국 출력토크값의 증가로 나타나므로 전동기설계에 중요한 영향을 끼치는 요소이다.

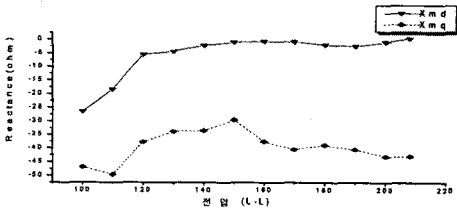


그림 10. 입력전압변화에 따른 d,q축 상호리액턴스

4. 자기저항 동기전동기의 동특성 예측

그림11 ~15는 위 실험의 정수추출값을 Matlab/Simulink에 투입하여 동특성을 예측한 그래프이다.

0.4, 0.8, 1.2, 1.5초에 각각 외부에서 부하토크를 걸어주어 시뮬레이션 결과를 확인하였다. 정수값은 정격치를 pu값으로 환산하여 투입하였다. 초기의 기동토크 및 일정토크 발생시간이 길고 낮은 역률을 갖는 자기 저항 전동기의 전형적인 특징을 그림 13, 14를 통해서 확인할 수가 있다. 이 이유는 자기 인덕턴스가 회전자 위치에 따라 일정한 정현파 분포를 이루지 못하고 있기 때문이다.

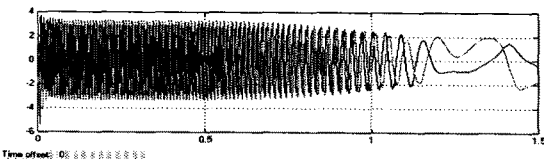


그림 11. 부하의 변동에 따른 I_d, I_q 의 변화

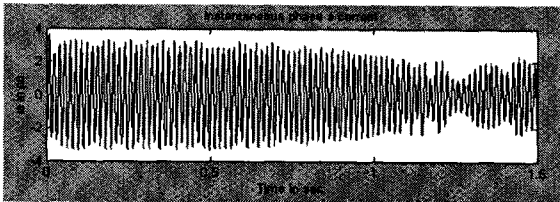


그림 12. 부하의 변동에 따른 상전류 변화

그리고 낮은 돌극비로 인한 토크의 변화가 크고, 일정값에 짧은 시간에 수렴하지 못하는 특징을 나타내고 있다. 이 문제를 해결하기위해선 자속장벽의 수를 늘이고 기계적인 문제를 해결해야 한다.

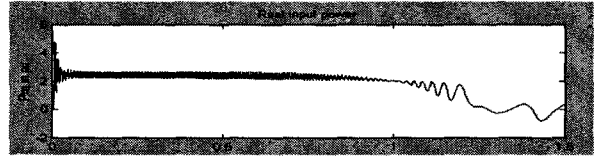


그림 13. 부하의 변동에 따른 유효전력의 변화(pu값)

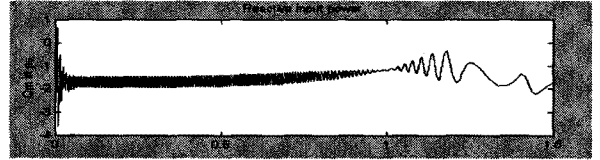


그림 14. 부하의 변동에 따른 무효전력의 변화(pu값)

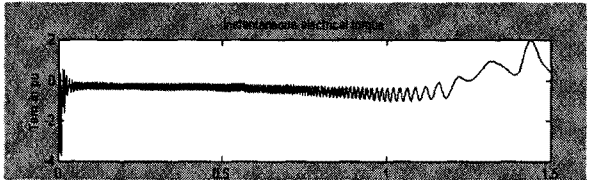


그림 15. 부하의 변동에 따른 토크의 변화(pu값)

5. 결 론

본 논문에서는 0.175kw 삼상 자기저항 동기전동기를 P-Q circle diagram 및 Single phase standstill test를 통해서 전압 및 주파수의 변화에 따른 철손을 고려한 정수값을 추출하였으며 이 값을 Matlab/Simulink를 통해 동특성을 예측하였다. 본 실험으로 철손을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 정수값을 비교할 수 있었으며 전압의 변동에 따른 자기저항 동기전동기의 특성변화 및 철손값을 추출하여 전동기의 설계 및 정밀한 토크제어가 요구되는 분야에 유용하게 적용될 수 있을 것이라 판단이 된다. 향후과제로서는 유한요소법에 의해 자기포화를 고려한 경우의 정수값을 추출하여 설계치의 자료로써 활용하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이중호, 김정철, 현동석, "단편형 회전자 구조 동기형 리액턴스 전동기와 유도전동기의 특성비교에 관한연구". Trans. KIEE. No 9. 1998.9
- [2] Katsumi Uezato, Tomonobu Senjyu, "Parameter measurement of Synchronous Reluctance Motors Including Stator and Rotor Iron Loss", SMIC'93, P247 - P252, 1993
- [3] IEEE standard Test, "Test Procedures for Synchronous Machines", IEEE Std 115-1995
- [4] Vernon B. Honsinger, "Steady-state Performance of Reluctance Machines" IEEE Trans Power Apparatus and System, Vol.90, No.1, pp.305-317, 1970.1/2