

정수 측정 시험에 의한 고효율 유도 전동기의 손실 특성 비교

변 한섭, 김 성철, 양 성한, 한 성진, 주 수원
 동아대학교 전기공학과

Comparison of Loss Characteristics of High-Efficiency Induction Motor by Parameter Measurement Test

H.S.Pyon, S.C.Kim, S.H.Yang, S.C.Hahn, S.W.Joo.
 Dept. of Elec. Eng. Dong-A Univ.
 schahn@daunet.donga.ac.kr

Abstract - Electric motor transforms electric power into mechanical power. It is important to increase efficiency of motor to save energy and to decrease operating cost. In this paper, some parameters and losses of high-efficiency induction motor and standard induction motor are measured by blocked-rotor test and no-load test. Operational parameters of high-efficiency induction motor that are compared with those of standard motor.

1. 서 론

전동기는 각종 산업원의 구동원으로 널리 사용되고 있다. 우리나라의 경우 전동기 부하는 국내 전기 사용량의 38%를 차지하고 있으므로 고효율화에 의한 에너지 절감이 요구되고 있다.[1]

본 논문에서는 고효율 유도 전동기의 보급에 따른 기초 연구로서 고효율 유도 전동기의 등가회로 정수와 손실을 회전자 구속 시험과 무부하 시험을 이용하여 측정한다. 효율, 기동전류, 기동토크와 같은 운전정수(operational parameter)와 전동기 손실 사이의 관계를 정립하고 고효율 유도 전동기와 일반 유도 전동기의 손실 곡선을 얻어서 두 전동기를 비교하여 고효율 유도 전동기의 특성을 알아보고자 한다.

2. 정수 측정 시험

2.1. 등가회로 정수의 측정

유도전동기의 등가회로는 일반적으로 그림1과 같은 여섯 개의 정수들로 구성된다.

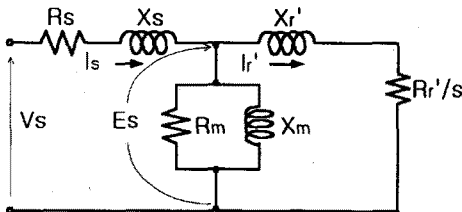


그림1. 유도전동기의 등가회로

여기서

- R_s = 고정자 저항,
- X_s = 고정자 누설 리액턴스,
- R_r = 고정자측 환산 저항, s = 슬립
- X_r' = 고정자측 환산 누설 리액턴스

R_m = 철손 저항, X_m = 자화 리액턴스

고정자 저항은 전동기 운전 상태의 값이 필요하므로 고정자 권선의 온도 상승에 따른 온도 보정된 값으로 측정한다. 그리고 나머지 다섯 개의 정수들을 구하기 위해서는 회전자 구속 시험과 무부하 시험을 이용한다. 회전자 구속 시험의 경우 그림 1에서 여자 어드미턴스가 없어지고 슬립 s 가 거의 1이 되어 2차측이 단락되므로 정수 R_s , R_r 와 X_s , X_r' 를 구할 수 있다.

무부하 시험은 그림 1에서 슬립 s 가 거의 0에 가깝게 되므로 2차측이 개방되어 자화 리액턴스 X_m 과 철손저항 R_m 을 구할 수 있다.[2]

본 논문에서는 등가회로 정수 중에서 고정자 동손과 회전자 동손과 관련된 R_s 와 R_r 를 측정한다.

2.2. 손실의 측정

전부하시 전동기 총손실은 다음과 같다.

$$P_{\Sigma} = P_s + P_r + P_{fw} + P_{iron} + P_{stray} \quad (1)$$

여기서

- P_s : 고정자 동손, P_r : 회전자 동손
- P_{iron} : 철손, P_{fw} : 마찰손 및 풍손
- P_{stray} : 표류부하손

P_s 를 측정하기 위해서 앞서 설명되었던 R_s 의 측정이 선행되고 이 때의 R_s 은 운전시 온도를 보정한 값이므로 P_s 또한 온도 보정된 값이 된다. 이들 손실을 구하기 위해서는 무부하 시험을 이용하는데 그림2를 보면 전압의 변화에 대한 무부하 입력전력 P_0 에서 무부하시 고정자 동손 P_{s0} 를 뺀 곡선을 얻어서 이것을 전압 0V까지 근사시켰을 때 손실 축과 만나는 점이 P_{fw} 이고 P_{fw} 와 P_{s0} 와의 차이가 P_{iron} 이 된다.[3] 그러므로 P_0 는 P_{s0} , P_{iron} , P_{fw} 의 합이 된다. 따라서 P_s 와 P_r 는 다음과 같다.

$$P_s = I_s^2 R_s \quad (2)$$

$$P_r = (P_{in} - P_s - P_{iron}) \cdot s \quad (3)$$

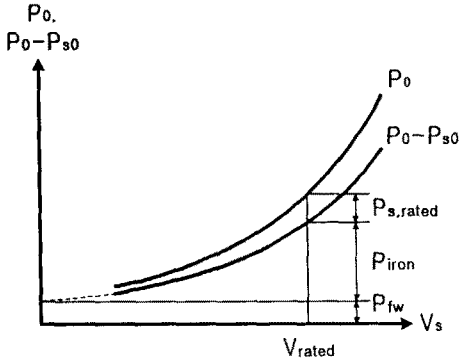


그림2. 무부하 손실 곡선

여기서 s 는 슬립이다. 또한 P_{stray} 는

$$P_{stray} = (P_{in} - P_{out}) - (P_s + P_r + P_{iron} + P_{fw}) \quad (4)$$

로 측정할 수 있다.[4] 여기서 P_{out} 은 전동기의 출력 전력이다.

2.3. 운전 정수와 손실

회전자 구속 시험에서 회전자 구속 전류 I_{br} 과 회전자 구속 손실 P_{br} 을 측정하고 무부하 시험에서 무부하 손실 P_0 를 측정한다.

먼저, 운전 정수인 기동전류 I_{str} 은 I_{br} 에 비례하는 것으로 간주되고 포화에 대해서 보정될 수 있다. 그리고 기동토크 T_{str} 은 슬립이 1일 때 공극전력 P_{ag} 에 비례하고, 이 때의 P_{ag} 는 P_{br} 과 I_{br} 로부터 결정될 수 있다. 또한 효율 η 는 P_{br} 과 P_0 의 함수이다. 따라서 이들을 $I_{str} = f_i(I_{br})$, $T_{str} = f_t(I_{br}, P_{br})$, $\eta = f_\eta(P_0, P_{br})$ 의 함수 관계로 표현할 수 있다.[5] 여기서 손실로 직접 표현되는 T_{str} 과 η 에 대해서 각각 $I_{br} - P_{br}$ 과 $P_0 - P_{br}$ 의 2차원 평면을 구성할 수 있을 것이고 이 평면들에서 전동기의 특성을 비교할 수 있을 것이다.

2.3.1. $P_0 - P_{br}$ 평면

전동기의 효율과 관계되는 평면으로서 정격출력전력을 P_{rated} 라고 하고 정격효율을 η_{rated} 라고 하면 총손실은 다음과 같다.

$$P_\Sigma = P_{rated}(1/\eta_{rated} - 1) \quad (5)$$

전동기의 전부하 손실은 식(1)과 같다. P_{br} 의 변화에 대해서 R_s 는 일정하고 R_r 가 변화한다고 하면 P_{br} 은 다음과 같다.

$$P_{br} = P_{s,br} + P_{r,br}k \quad (6)$$

여기서 $P_{s,br}$ 은 회전자 구속시 고정자 동손, $P_{r,br}$ 은 회전자 구속시 회전자 동손이다. k 는 R_r 의 변화를 나타내는 변수이고 따라서 이것은 P_{br} 과 P_r 의 변화를 나타내는 변수가 된다. 한편 무부하 손실 P_0 는 다음과 같다.

$$P_0 = P_{s0} + P_{iron} + P_{fw} \quad (7)$$

식(5)와 (7)를 이용하여 P_0 와 P_{br} 사이의 관계식을 나타내면 다음과 같다.

$$P_0 = P_\Sigma + P_{s0} - P_s - P_{stray} - \frac{P_r(P_{br} - P_{s,br})}{P_{r,br}} \quad (8)$$

2.3.2. $I_{br} - P_{br}$ 평면

$I_{br} - P_{br}$ 평면으로써 전동기의 T_{str} 특성을 확인할 수 있다. T_{str} 를 측정된 손실로 표현하면 다음과 같다.

$$T_{str} = (P_{in} - 3I_s^2R_s - P_{iron})/w_s = P_{ag}/w_s \quad (9)$$

여기서 w_s 는 동기속도이다.

식(9)를 I_{br} 과 P_{br} 에 대한 식으로 바꾸기 위해 정격 전압 V_r 에서 기동 시 입력전력 P_{str} 와 회전자 구속시험 전압 V_{br} 에서 기동 시 입력전력 $P_{str,br}$ 의 측정이 필요하다. 만약 포화가 없다면 P_{str} 을 P'_{str} 이라고 두면 다음과 같다.

$$P_{str} = P'_{str} = P_{br}(V_r^2/V_{br}^2) \quad (10)$$

또한 포화계수는 다음과 같이 정의된다.

$$k_p = P_{str}/P'_{str} \quad (11)$$

한편 시험을 통하여 측정된 V_r , V_{br} , I_{str} , I_{br} 로부터 또 다른 포화계수 k_t 를 구할 수 있다.

$$k_t = (V_{br}/V_r)(I_s/I_{br}) \quad (12)$$

식(9), (10), (11), (12)로부터 다음 식이 유도된다.

$$k_p P_{br} = (T_{str} w_s + P_{iron})(V_{br}^2/V_r^2) - 3I_{br}^2 R_s k_t^2 \quad (13)$$

3. 측정 및 결과 분석

전동기 시험을 위한 장치 구성도는 그림2와 같다. 전원은 3상 220V 60Hz 입력이고 Dynamometer를 이용하여 회전자 구속 및 무부하 시험을 행하였다. 그리고 data acquisition 장치로 측정 data들을 수집하여 PC로 전송 처리하였다. 시험전동기의 사양은 표1에 표시하였다.

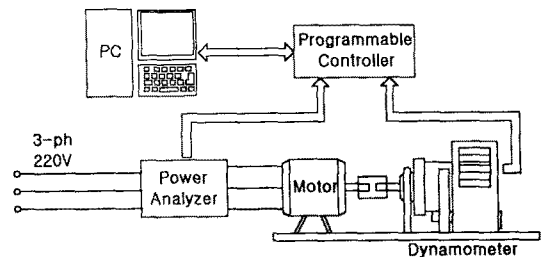


그림3. 실험 장치 구성도

표1. 시험 전동기 사양

nameplate	고효율 유도 전동기	일반 유도 전동기
용량(KW)	0.75	0.75
극 수	4	4
RPM	1700	1690
주파수(Hz)	60	60
전압(V)	220	220/380
전류(A)	3.5	3.8/2.2
효율(%)	82.5	75
중량(Kg)	15	15
INS	F	B

$P_0 - P_{br}$ 평면상의 비교 결과는 그림3과 같다. 고효율 유도 전동기는 일반 유도 전동기보다 곡선의 길이가 짧고 P_0 값이 작다. 식(7)은 곡선을 나타내는 방정식으로 식(5)과 관련하여 효율에 따른 곡선의 위치를 결정해 준다. 즉 식(5)에서 η 가 높수록 P_{Σ} 값이 작아지므로 P_{br} 이 일정할 때 P_0 값이 작게 되어 $P_0 - P_{br}$ 평면상에서 곡선의 위치가 낮아진다. 식(7)의 나머지 손실에 대해서는 손실 측정 결과 주로 효율과 비례하므로 효율과 함께 포괄적으로 생각할 수 있다.

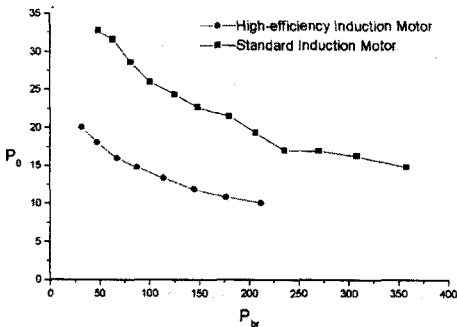


그림4. $P_0 - P_{br}$ 평면에서 고효율 유도 전동기와 일반 유도 전동기의 비교

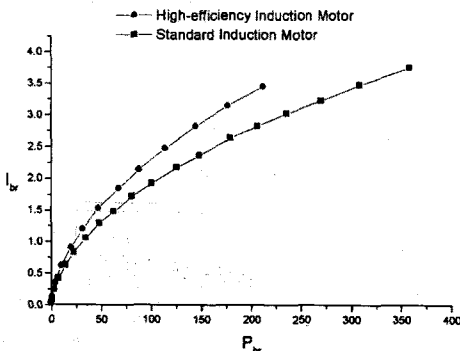


그림5. $I_{br} - P_{br}$ 평면상에서 고효율 유도 전동기와 일반 유도 전동기의 비교

$I_{br} - P_{br}$ 평면상의 결과는 그림4와 같다. 고효율 유도 전동기가 일반 유도 전동기보다 P_{br} 에 대해서 I_{br} 이 더 크고 곡선의 길이가 짧은 것을 알 수 있다. 기동전류 I_{str} 과 회전자 구속 전류 I_{br} 의 비례관계로부터 고효율 유도 전동기의 기동전류가 일반 유도 전동기보다 크다는 것을 알 수 있다. 또한 I_{str} 이 크므로 기동토크 T_{str} 역시 크다는 것을 예측할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 고효율 유도 전동기의 손실 특성을 알아 보기 위해 정수 측정 시험을 이용하였다. 손실과 관련된 정수 측정이 선행되었고 손실과 운전정수와의 관계를 정립하여 $P_0 - P_{br}$ 와 $I_{br} - P_{br}$ 평면상에서 일반 유도 전동기와 손실 특성을 비교하였다. 본 논문에서는 고효율 유도 전동기에 대한 단순한 손실 비교보다는 측정된 손실로써 전동기의 다른 특성을 비교 예측할 수 있다는 점에 손실 특성의 초점을 맞추었다. 실험 결과 고효율 유도 전동기의 효율과 기동 토크가 일반 유도 전동기보다 더 높음을 증명 할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- (1) 최희은, 임만수, "고효율 유도 전동기의 기술 현황 및 전망", 현대중공업 산업 전동기부, Proceedings of KIEE, Vol.47, No 11, NOV.1998.
- (2) Richard H.Engelmann, William H. Middendorf, "Motors Handbooks", pp275-278, 1995
- (3) Peter Vas, "Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines", Clarendon Press Oxford, PP.180~190, 1993.
- (4) IEEE Standard Test Procedure for polyphase induction motor, IEEE Std 112-1991
- (5) W.Hubb, O.Goldberg, "A new method for quality monitoring of induction motors", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol.8, No. 4, pp725-731, December 1993