

외측회전형 이중 농형 유도전동기에 관한 연구

김현수[†] · 배철오* · 안병원*

(원고접수일 : 2003년 6월 10일, 심사완료일 : 2003년 7월 22일)

A Study on the outside rotor type double squirrel cage Induction motor

Hyun-Soo Kim[†] · Cherl-O Bae* · Byong-Won Ahn*

Key words : Outside rotor type IM(외측회전형 유도전동기), Load Test(부하시험), No Load Test(무부하시험), Locked rotor test(회전자 구속시험), Dynamometer(동력계)

Abstract

This paper describes a newly developed double squirrel cage induction motor in which the rotor is located outside the stator.

The outside rotor type brushless dc motor has been used for VTR's head drum and PC's cooling fan, but this kind of induction motor has not been developed yet.

The parameters of outside rotor type induction motor were measured from the locked rotor test and no load test. It is possible to determine the parameters which are presented in the steady-state equivalent-circuit of the outside rotor type induction motor. Load test of induction motor was carried out using a dynamometer.

For the characteristics of torque, efficiency, power factor and output, the developed double squirrel cage induction motor is compared with the ordinary induction motor

It is believed that the results of this paper can be used for the development of the outside rotor type induction motor.

1. 서 론

산업용 및 공조용 팬 동력원의 대부분이 농형 유도전동기를 사용하고 있으며 그 구조는 외측 고정자에 의해 내측 회전자가 회전하는 형태이다. 이와는 반대로 내측 고정자에 의해 외측 회전자가 구동되는 외측 회전형 방식의 유도전동기는 적은 전류로 지속적인 큰 토크가 필요한 팬 등에 적합한

형태라고 할 수 있다. 즉, 외측이 회전함으로써 큰 관성력을 얻을 수 있으므로, 일단 회전하게 되면 큰 토크를 지속적으로 발생시킬 수 있다. 그리고, 일시적인 입력 전압의 변동이나 부하 변동시에도 외측 회전자의 큰 관성력에 힘입어 송풍량을 고르게 해주는 역할을 할 수 있으리라 사료된다⁽¹⁾.

내측 고정자에 의해 외측 회전자가 회전하는 방식은 VTR의 헤드 드럼 및 일부 개인용 컴퓨터의

[†] 책임저자(목포해양대학교 기관시스템공학부), E-mail:blue@mail.mmu.ac.kr, T : 061)240-7087

* 목포해양대학교 기관시스템공학부

냉각 팬에 사용되는 브러시리스 직류전동기가 있다. 그러나, 외측 회전형 유도전동기는 아직까지 개발되거나 실용화되었다고 보고된 적이 없다.

본 논문에서는 팬 또는 이와 유사한 특성을 가진 부하의 동력원으로 사용할 목적으로, 이중 농형의 특성을 나타내는 설계등급⁽²⁾ B의 외측 회전형 유도전동기의 회전자를 설계, 제작하여 고정자 저항시험, 무부하시험 및 회전자 구속시험을 통해 등가회로 정수를 측정하였다. 그리고, 부하시험을 행하여 얻은 토크-속도, 출력, 역률 및 효율 특성곡선을 분석함으로써 외측 회전형 유도전동기 개발과 관련된 기술적인 토대를 마련하고자 한다.

이중 농형 유도전동기는 일반적으로 슬롯의 상·하부에 서로 다른 저항을 가진 도체를 사용하므로 제작비가 비싸진다. 본 논문에서는 제작상의 문제로 슬롯의 상·하부에 같은 저항의 도체를 사용하여 회전자를 제작하였다.

시험제작된 외측 회전형 유도전동기의 성능을 확인하기 위해 동일 마력의 기존 내측 회전형 유도전동기와 토크, 역률, 효율 및 출력특성을 상호 비교하였다.

2. 유도전동기

2.1 등가회로

유도전동기는 회전자에 전압과 전류를 유도시키며 동작하므로 변압기와 같이 1차측(고정자)은 2차측(회전자)에 전압을 유도하지만 변압기와 달리 2차측 주파수는 1차측 주파수와 같지 않다. 유도전동기의 등가회로는 회전자 권선의 전류 및 주파수⁽³⁾의 변동 때문에 직접적으로 유도되지는 않는다⁽⁴⁾.

정지중의 유도전동기는 단락회로를 가진 변압기와 유사하다. 또한, 전동기가 회전하고 있을 경우의 출력은 기계적 동력이므로 이 동력에 상당하는 에너지를 소비하는 부하저항으로 바꾸어 놓고 생각하여야 되는 점이 변압기와 다르다.

유도전동기의 최종적인 각 상당 등가회로를 만들기 위해서는 회전자부분을 고정자 측으로 환산하는 것이 필요하다.

일반적인 변압기에서 2차측의 전압, 전류 및 임피던스는 권수비를 이용하여 1차측으로 환산할 수 있는데 이를 유도전동기에 적용하여 상당등가회로를 그리면 Fig. 1과 같다.

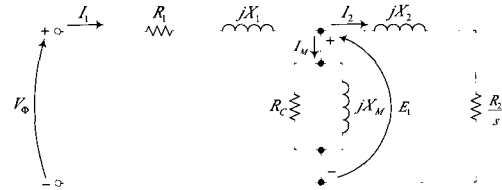


Fig. 1 Per-phase equivalent circuit of an induction motor

2.2 등가회로 정수 결정

등가회로의 정수는 무부하시험, 회전자 구속시험의 결과치와 고정자 권선의 직류 저항을 측정함으로써 결정할 수 있다⁽⁵⁾⁻⁽⁶⁾.

유도전동기의 무부하시험은 변압기의 개방 회로 시험과 비슷하며 여자 전류와 회전 손실에 관한 정보를 제공한다. 이 무부하시험은 정격 주파수의 평형 다상 전압을 유도전동기의 고정자 권선에 공급한다. 이때 회전자에는 어떠한 기계적 부하도 걸지 않아야 한다. 무부하시험의 전력 손실은 철손, 풍손 및 마찰손에 의해 발생한다. 정격 전압, 정격 주파수의 전원이 공급되는 유도전동기에 부하를 걸 때 발생하는 회전 손실은 일반적으로 일정하며 그 값은 무부하시험의 총 손실과 같다.

유도전동기에 대한 회전자 구속시험은 변압기의 단락 회로 시험과 같으며 누설 임피던스에 대한 정보를 제공한다. 이 시험에서는 회전자를 고정시키며 평형 다상 전압을 고정자 단자에 공급한다. 회전자 구속시험을 행할 경우 일반적으로 정격운전시의 전류 및 주파수와 비슷한 조건하에서 행한다.

3. 외측회전형 유도전동기

3상 유도전동기는 3상 권선에 의해 회전자계를 만든다. 보통, 전원에 접속되는 3상 권선은 고정된 철심 속에 감겨진다. 이 고정 부분을 고정자라 하는데 본 논문에서는 기존 전동기의 내측 부분인

회전자를 고정자로 사용하여 바깥부분이 회전하도록 하였으며 이중 농형 유도전동기의 특성을 갖도록 회전자 철심의 슬롯을 설계하였다.

3.1 고정자

Fig. 2는 시험 제작된 외측 회전형 유도전동기의 고정자이다.

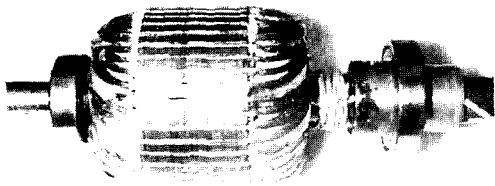


Fig. 2 Stator of developed IM.

1마력용 권선형 유도전동기의 회전자를 이용하여 외측 회전형 유도전동기의 고정자로 사용하였다. 일반적으로 유도전동기의 1차권선에 사용되는 2층권의 중권으로 코일을 다시 감았으며, 3상의 접속은 Y-결선으로 하였고, 극수는 4극으로 하였다.

3.2 회전자 철심

Fig. 3은 설계된 회전자 슬롯의 형상을 나타내고 있으며, 이중 농형의 회전자로 설계하였다. Fig. 4는 설계된 유도전동기의 회전자 철심이다.

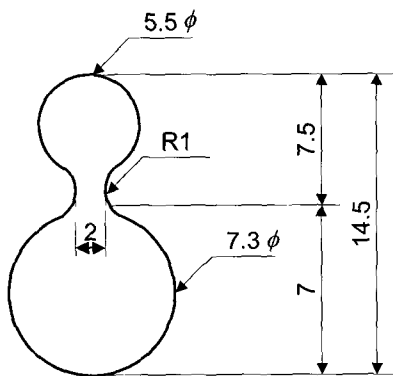


Fig. 3 Dimension of slot.

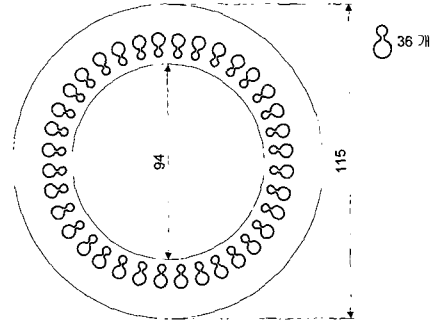


Fig. 4 Dimension of rotor core.

Fig. 5는 설계된 유도전동기의 고정자 및 회전자 단면이다. 고정자 한 극당 슬롯수는 11개로 하였고, 고정자 한 극에서 발생하는 자속을 쇄교하는 회전자 도체 수는 9개로 하였다. 회전자 슬롯의 길이는 14.5mm로 하였다.

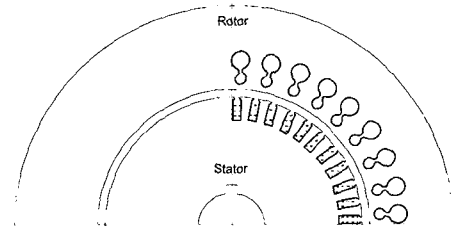


Fig. 5 Sectional diagram of rotor and stator.

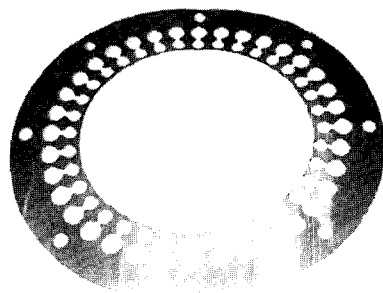


Fig. 6 Rotor core of developed IM.

Fig. 6은 시험 제작된 회전자 철심이며, 회전자 철심은 무방향성 규소강판으로 규소함유량 3.5%, 두께 0.5mm, 유·무기 복합코팅으로 절연코팅되어 있다. 전동기의 공극에서 가까운 쪽에 위치해 있는

슬롯의 형상은 원형으로 하였으며, 공극에서 멀리 위치해 있는 슬롯의 형상은 공극에서 가까운 쪽보다 상대적으로 단면적이 큰 원형으로 설계하였다. 슬롯의 수는 36개이다.

3.3 회전자

Fig. 7은 시험 제작된 회전자로, Fig. 6의 회전자 철심 110개를 적층하여 슬롯의 상·하층부에 같은 저항의 도체인 알루미늄을 주입하였고, 양단을 원형의 단락환으로 단락하였다.

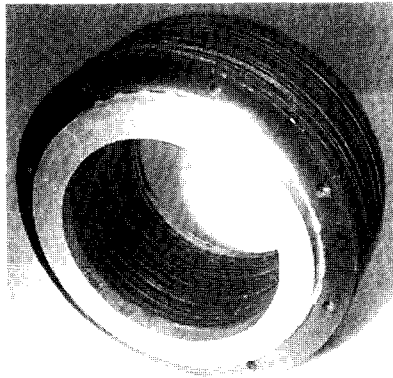


Fig. 7 Laminated rotor of developed IM.

3.4 외측회전형 유도전동기

Fig. 8은 시험 제작된 외측 회전형 유도전동기의 내부 모습이다. 바깥쪽에 회전자가 있고, 안쪽에 고정자가 위치한 모습을 볼 수 있다.

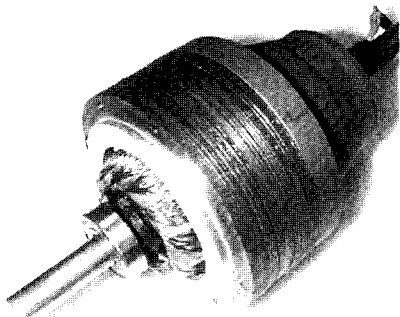


Fig. 8 Inside view of developed IM.

4. 실험 및 고찰

4.1 실험장치의 구성

시험 제작된 유도전동기의 성능시험을 하기 위한 실험장치의 전체 구성을 Fig. 9에 나타내었다.

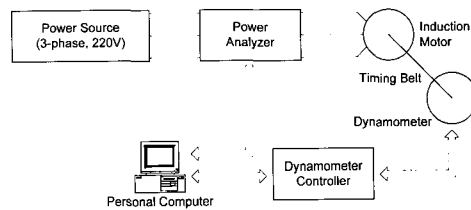


Fig. 9 Schematic diagram of load test.

동력계(Dynamometer)와의 연결은 시험제작된 유도전동기는 외측이 회전하므로 직접 연결하지 못하고 타이밍벨트를 이용하여 연결하였다. 부하시험은 전동기 보호목적으로 회전수가 900(rpm)이 되면 시험을 종료하였다.

부하시험은 동력계에서 전동기에 단계적으로 부하토크를 가하여 행하였으며, 그 때의 토크 및 회전수의 데이터를 PC로 입력받아 토크-속도 특성곡선을 작성하였다. 회전자 구속시험은 15Hz에서 시험을 행하였으며 동력계에서 최대토크보다 큰 부하토크(정동토크)를 가하여 회전자를 구속하였다. 회전자 구속시험을 15Hz에서 행하였을 때, 측정계기의 지침이 많이 흔들려 측정에 어려움이 있었다. 측정계기의 입력범위를 높은 것으로 사용하여 지침의 흔들림은 많이 줄었으나, 측정 오차가 있으리라 사료된다.

4.2 비교전동기의 사양

시제전동기의 특성을 확인하고자 동일 마력의 기존 일반 유도전동기와 토크, 역률, 효율 및 출력을 비교하였다.

Table 1에 비교전동기의 사양을 기술하였다.

Table 1 Specification of 3 phase IM(Hitachi Ltd.).

출력	0.75kW	전류	3.3A
극수	4P	제조사	Hitachi Ltd.
전압	220V	Insulation	E
주파수	60Hz	Max. Power	270%

Table 2에 시제전동기와 비교전동기의 측정된 등가회로 정수를 나타내었다.

Table 2 Parameters of IMs.

기 호	측 정 값 [25°C]		단 위
	비교전동기	시제전동기	
R_1	3.27	4.71	[Ω]
R_2	1.77	1.51	[Ω]
X_1	4.03	3.15	[Ω]
X_2	4.03	4.73	[Ω]
X_M	52.67	22.96	[Ω]

4.3 무부하 손실 비교

비교전동기와 시제전동기의 무부하시험 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Results of no load test.

	비교전동기	시제전동기
Input power	99.5[W]	333[W]
Stator copper loss	49.26[W]	273.93[W]
Rotational loss	50.24[W]	59.07[W]

두 전동기의 회전손실은 거의 비슷하며, 공극의 차이로 인한 고정자 동손의 차이가 크다.

비교전동기와 시제전동기에서 측정된 자화 리액턴스(X_M)가 약 2배 이상 차이가 난다. 자화 리액턴스의 차이로 인하여 2차측에 흘러가는 전류의 양이 달라진다. 비교전동기에 비해 시제전동기의 작은 자화 리액턴스는 2차측 전류를 감소시킨다. 이것은 공극이 크다는 것을 의미하며 큰 공극으로 인한 자기저항의 증가는 주어진 자속레벨을 얻기 위해 훨씬 더 많은 양의 자화전류가 필요하여 고정자에 흘러 들어가는 전류가 많아지므로 입력전력의 대부분이 고정자 동손으로 소모되었다.

4.4 토크-속도 특성 비교

Fig. 10은 토크-속도 특성을 비교한 것이다. 시제전동기는 제작상의 문제로 슬롯의 상·하부에 동일 재질의 도체를 사용하였지만 회전자 도체의 단면적 차이로 인한 회전자 저항 및 리액턴스의 변

화로 기동 및 토크-속도 특성 면에서 이중 농형 유도전동기와 유사한 특성을 보였다. 비교전동기는 설계등급 A급의 토크-속도곡선에서 회전자 저항을 증가시킨 토크-속도 곡선을 갖는다. 즉, 최대토크가 발생하는 슬립이 높아지고 기동토크가 증가한 특성을 나타내었다. 설계등급 A 전동기의 최대토크는 전부하 토크의 200~300%이고, 설계등급 B 전동기의 최대토크는 전부하 토크의 200%보다 크거나 같다. 비교전동기의 최대토크는 전부하 토크의 약 245%이고, 시제전동기는 180%이었다. 시제전동기의 최대토크가 설계기준에 못 미치는 것은 적은 자화 리액턴스로 인하여 1차측으로 자화전류가 많이 흘러, 2차측 전류가 감소하여 회전자 전류와 회전자속 사이에 발생하는 전자력이 작아져 토크가 낮아진 것으로 사료된다. Table 2에서 각 전동기의 회전자 누설 리액턴스(X_2)는 비교전동기는 4.03[Ω], 시제전동기는 4.73[Ω]로 측정되었다. 설계등급 B 전동기는 A 전동기보다 회전자 누설 리액턴스가 높음에도 불구하고 두 전동기의 회전자 누설 리액턴스가 비슷한 것은 회전자의 도체 수와 관계가 있는 것으로 사료된다. 외측 회전형 유도전동기의 회전자를 제작할 때 기계적인 강도 때문에 회전자 도체 수를 일반 유도전동기의 것에 비해 적게 제작하여 회전자 누설 리액턴스가 적어진 것으로 사료된다. 정상 운전영역에서는 비슷한 토크-속도 특성을 나타내고 있다.

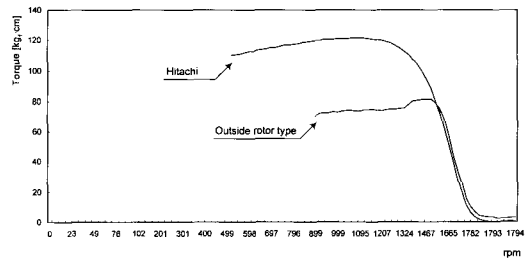


Fig. 10 Characteristics of torque.

4.5 역률 특성 비교

Fig. 11은 역률을 비교한 것이다. 비교전동기와 시제전동기로부터 측정된 자화 리액턴스의 차이로 인하여 시제전동기의 역률이 보다 낮음을 알 수 있다.

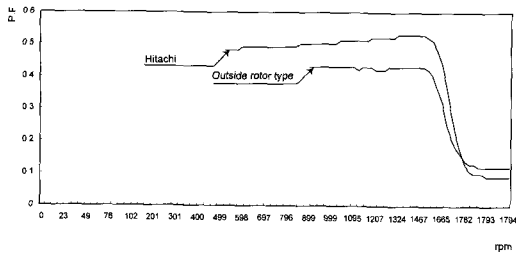


Fig. 11 Characteristics of P.F.

4.6 효율 특성 비교

Fig. 12는 효율을 상호비교하고 있다.

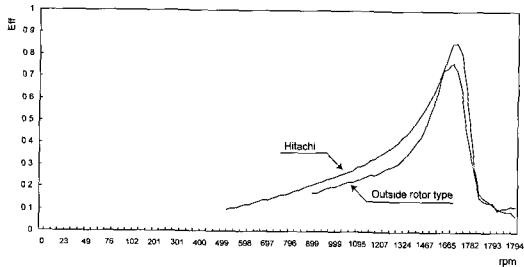


Fig. 12 Characteristics of efficiency.

시제전동기의 효율이 약간 낮은 원인은, 첫 번째는 큰 공극에 의한 고정자 손실이 많았으며, 외측 회전형 전동기의 회전자 구속시험시 각 상에서 측정된 전류 값들이 달랐는데 이는 회전자의 공극이 일정하지 않다는 것이며 이로 인한 전동기의 표류부하손이 증가하였다. 세 번째 원인은 회전자 철심을 적층할 때 전기강판의 일부 절연체가 파괴되어 와전류손실이 증가한 것으로 사료된다.

4.7 출력 특성 비교

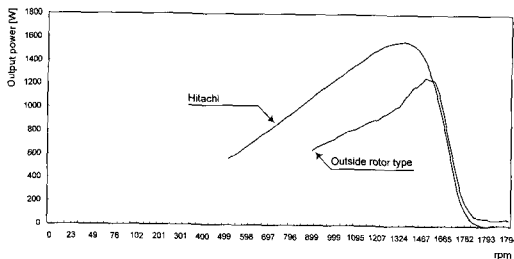


Fig. 13 Characteristics of output power.

Fig. 13은 전동기 출력을 비교한 것으로, 시제 전동기의 효율이 전반적으로 낮아 전체 출력이 기존 전동기보다 감소하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 현재 대부분 사용되고 있는 팬 구동용 유도전동기를 대체할 만한 외측 회전형 유도전동기를 제작하여 등가회로 정수를 측정하였고, 부하시험을 통하여 산출된 제반 특성곡선에 의해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시험 제작된 외측 회전형 유도전동기는 전동기의 외측이 회전함으로써 회전자의 관성모멘트가 증대되어 팬의 동력원으로 적합하리라 사료된다.
2. 이중 농형 유도전동기의 회전자 도체는 일반적으로 서로 다른 저항의 도체를 사용하지만, 높은 제작비용으로 인하여 시험 제작된 외측 회전형 유도전동기는 같은 저항의 도체를 사용하였다. 동일 재질의 도체를 사용하였지만 회전자 도체의 단면적 차이로 인한 회전자 저항 및 리액턴스의 변화로 기동 및 토크-속도 특성 면에서 이중 농형 유도전동기와 유사한 특성을 보였다.
3. 차후 회전자 슬롯의 형상과 수에 의한 저항과 리액턴스 변화에 대해 이론적 고찰이 필요하리라 사료된다.

외측 회전형 유도전동기는 부피와 질량이 큰 외측이 회전하므로 불가피하게 공극의 길이가 증가하였으며 회전자 철심의 정밀 가공 및 다이캐스팅을 할 수 없어 만족할만한 토크-속도 등의 부하특성을 얻을 수 없었다. 시험 제작된 외측 회전형 유도전동기는 NEMA 설계등급 B를 목표로 삼아 개발되었으나 특성이 설계기준에 못 미쳐, 차후 회전자 슬롯의 형상 설계 및 제작에 대한 지속적인 연구가 필요하며 적용분야와 유용성에 대한 검토도 병행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 김현수 외 2인, “외측 회전자형 심구형 유도전동기의 특성”, 한국박용기관학회지, 제26권, 제1호, pp. 30~36, 2002
- [2] Stephen J. Chapman, “Electric Machinery Fundamentals”, McGraw-Hill Korea, pp. 353~402, 2001
- [3] 강제남 외 5인, “단상유도모터의 비선형 시변 해석 및 위상최적설계”, 2001 대한전기학회 광주·전남지부 추계학술대회 논문집, pp. 9~12, 2001. 11, 호남대학교
- [4] 김규탁 외 3인, “구속시험에 의한 선형 유도전동기의 등가회로 정수산정 및 특성 계산, 전기학회논문지, 제43권 제4호, pp. 580~585, 1994
- [5] Paul C. Krause, “Analysis of Electric Machinery”, McGraw-Hill Book Company, pp. 164~188, 1986
- [6] 김규식, “유도전동기의 동특성 및 효율 향상을 위한 연구동향”, 전자공학회논문지, 제20권, 제3호, pp. 331~338, 1993

저자소개



김현수 (金炫秀)

1993년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 학사, 1999년 2월 : 목포해양대학교 기관공학과 석사, 2002년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 박사, 2002년 3월~현재 : 목포해양대학교 전임강사



배철오 (裴哲吾)

1993년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 학사, 1997년 8월 : 한국해양대학교 기관공학과 석사, 2001년 8월 : 한국해양대학교 기관공학과 박사, 2002년 3월~현재 : 목포해양대학교 전임강사



안병원 (安秉元)

1986년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 학사, 1991년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 석사, 1996년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 박사, 1996년 3월~현재 : 목포해양대학교 기관시스템공학부 전임강사, 조교수, 부교수, 2002년 1월~2003년 1월 : 일본 큐슈대학 Post Doc.