
외측회전형 유도전동기에 관한 연구

김현수* · 배철오* · 김종수**

A Study on the Outside Rotor Type Induction Motor

Hyun-Soo Kim* · Cheri-O Bae* · Jong-Su Kim**

요 약

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.

본 논문에서는 팬 또는 이와 유사한 특성을 가진 부하의 동력원으로 사용할 목적으로, 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 외측회전형 유도전동기 개발과 관련된 기술적인 토대를 마련하고자 한다.

ABSTRACT

This paper presents a developed outside rotor type induction motor for the fan. Nearly all of the induction motors consist of two parts, rotor and stator, and the position of rotor is generally inside of stator. However, the rotor of the developed induction motor is located outside of stator. It is believed that the outside rotor type induction motor is suitable for the fan due to its large inertia, that is, it is considered that the change of air flow rate resulting from input power or load fluctuation is reduced.

In this paper, the two tests which are suitable to obtain the electrical parameters of the outside rotor type induction motor were described, then various parameters of outside rotor type induction motor were measured. These are the locked rotor test and no load test. By using these tests, it was 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 and the torque-speed curve was obtained.

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

*목포해양대학교 기관시스템공학부

**한국해양대학교 부설 해사산업연구소

1. 서론

유도전동기의 회전자는 권선형과 농형의 두 가지가 있다. 회전자의 형태에 따라서 권선형 유도전동기와 농형 유도전동기로 분류된다. 권선형 유도전동기는 농형 유도전동기에 비해 적은 전류로 큰 기동토크를 낼 수 있으며, 정상 작동상태에서 효율이 높다는 등의 우수한 특성으로 인해 대형 유도전동기에 많이 사용되고 있으나 매우 비싸며, 브러시나 슬립 링의 마모 때문에 지속적인 유지관리가 필요하고, 농형 유도전동기보다 아주 복잡한 자동제어회로가 요구된다.

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 외측회전형 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 입력전압의 변동이나 부하변동시에도 외측 회전자의 큰 관성력에 힘입어 송풍량을 고르게 해줄 수 있다[1].

본 논문에서는 팬의 동력원으로 사용하고자 낮은 기동전류, 낮은 슬립을 가지는 설계등급 B의 외측회전형 유도전동기의 회전자를 설계, 제작하여 고정자 저항시험, 무부하 시험 및 회전자 구속시험을 통해 등가회로 정수를 측정하고, 부하시험을 통해 작성된 토크-속도 특성 곡선을 토대로 운전특성을 해석함으로써 외측회전형 유도전동기 개발과 관련된 기술적인 토대를 마련하고자 한다.

II. 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 주파수의 변동 때문에 직접적으로 유도되지는 않는다[2]. 먼저 정지중의 유

도전동기는 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[3].

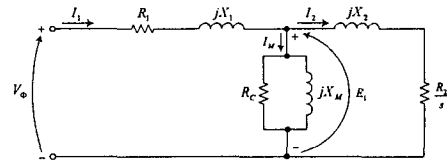


그림 1. 유도전동기의 상당등가회로
Fig. 1 Per-phase equivalent circuit of an IM.

2.2 등가회로 정수 결정

등가회로의 상수 R_1 , R_2 , X_1 , X_2 , X_m 은 무부하시험, 회전자 구속시험의 결과치와 고정자 권선의 직류 저항을 측정함으로써 결정할 수 있다.

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. 무부하시험 유도전동기의 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[4].

III. 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 시험제작된 외측회전형 유도전동기의 고정자이며, 1마력용 권선형 유도전동기의 회전자를 이용하여 외측회전형 유도전동기의 고정자로 사용하였다. 일반적으로 유도전동기의 1차권선에 사용되는 2층 권의 중권으로 코일을 다시 감았으며, 3상의 접속은 Y-결선으로 하였고, 극수는 4극으로 하였다.

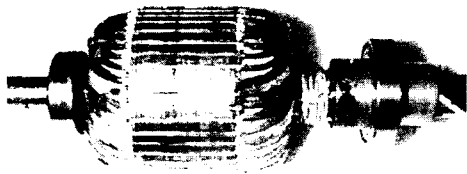


그림 2. 외측회전형 유도전동기의 고정자
Fig. 2 Stator of developed IM.

3.2 회전자 철심

Fig. 3은 설계된 회전자 슬롯의 형상을 나타내고 있다.

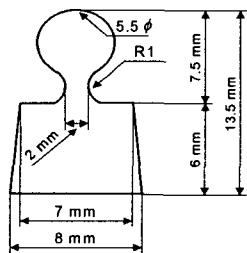


그림 3. 회전자 슬롯의 형상
Fig. 3 Dimension of slot.

팬에 사용될 목적으로 개발하기 위하여 낮은 기동 전류 및 큰 기동토크 특성을 보이는 이중 농형의 회

전자로 설계하였다. 전동기의 공극에서 가까운 쪽에 위치해 있는 슬롯의 형상은 원형으로 하였으며, 공극에서 멀리 위치해 있는 슬롯의 형상은 공극에서 가까운 쪽보다 상대적으로 단면적이 큰 사각형으로 설계하였다.

Fig. 4는 설계된 유도전동기의 회전자 철심이며, Fig. 5는 시험제작된 회전자 철심을 나타내고 있다. 회전자 철심은 강판의 방향에 관계없이 균일한 자기 특성을 가지는 무방향성 규소강판으로 규소함유량 3.5%, 두께 0.5mm, 유·무기 복합코팅으로 절연코팅되어 있다. 슬롯의 수는 36개이다.

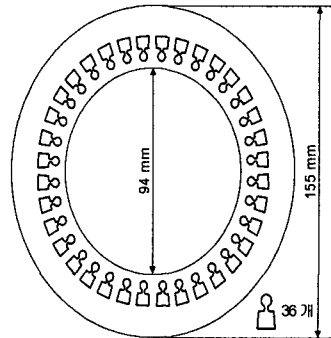


그림 4. 회전자 철심의 형상
Fig. 4 Dimension of rotor core.

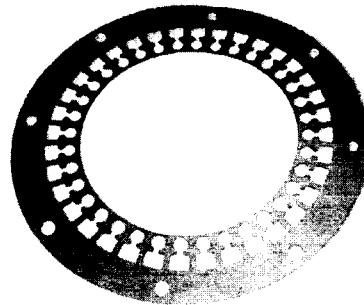


그림 5. 제작된 회전자 철심
Fig. 5 Rotor core of developed IM.

Fig. 6은 설계된 유도전동기의 고정자와 회전자 단면으로, 고정자 한 극당 슬롯수는 11개로 하였고, 회전자 도체 수는 9개로 하였다.

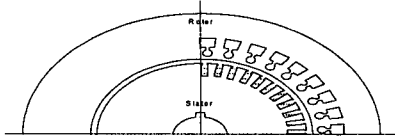


그림 6. 고정자와 회전자의 단면

Fig. 6 Sectional diagram of rotor and stator.

3.3 회전자

일반적으로 이중 농형 회전자의 상·하층부의 도체는 서로 다른 저항의 도체를 사용하나 본 논문에서는 제작경비가 많이 들어 상·하층부에 같은 저항의 도체를 사용하였으며, 도체는 알루미늄을 사용하였다.

Fig. 7은 시험제작된 회전자로, Fig. 5의 회전자 철심 110개를 적층하여 회전자 슬롯 속에 알루미늄을 주입하였으며 양단을 원형의 단락환으로 단락하였다.



그림 7. 제작된 회전자

Fig. 7 Laminated rotor of developed IM.

3.4 외측회전형 유도전동기

Fig. 8은 시험제작된 외측회전형 유도전동기의 내부 모습이다. 바깥쪽에 회전자가 있고, 안쪽에 고정자가 위치한 모습을 볼 수 있다.

Fig. 9는 조립된 외측회전형 유도전동기이다. 전동기 운전시 고정자 양단을 고정시킨다. 전동기의 크기는 193.5mm×155mm이다.

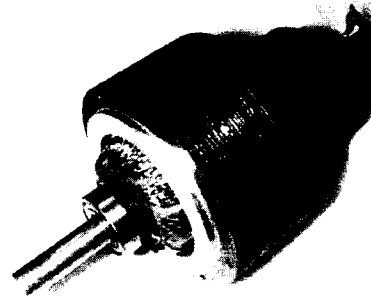


그림 8. 제작된 전동기의 내부

Fig. 8 Inside view of developed IM.

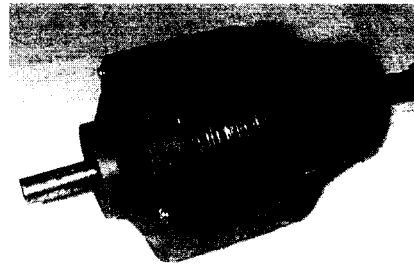


그림 9. 제작된 외측회전형 유도전동기

Fig. 9 Assembly of developed IM.

IV. 실험 및 고찰

4.1 실험장치의 구성

시험제작된 유도전동기의 성능시험을 하기 위한 실험장치의 전체 구성을 Fig. 10에 나타내었다.

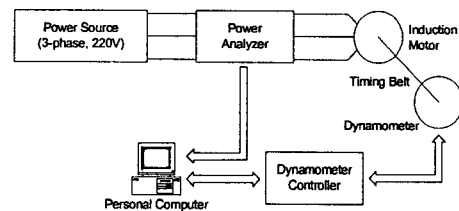


그림 10. 실험장치의 구성

Fig. 10 Schematic diagram of load test.

동력계(Dynamometer)[5]와의 연결은 시험제작된 유도전동기는 외측이 회전하므로 직접 연결하

지 못하고 타이밍벨트를 이용하여 연결하였다. 부하시험은 전동기 보호목적으로 회전수가 900[rpm]이 되면 시험을 종료하였다.

4.2 유도전동기의 정수

시험제작된 유도전동기의 측정된 정수는 Table 1과 같다.

표 1. 제작된 유도전동기의 정수
Table. 1 Parameters of developed IM.

기호	측정값 [25℃]	기호	측정값 [25℃]
R_1	4.74[Ω]	X_1	3.85[Ω]
R_2	2.36[Ω]	X_2	5.77[Ω]
		X_M	23.59[Ω]

4.3 무부하 손실

무부하 시험 결과 측정된 전동기의 입력전력과 무부하 손실에 관한 결과를 Table 2에 나타내었다.

Fig. 11은 입력전력과 무부하 손실과의 관계를 나타내고 있는데 고정자 동손이 입력전력의 약 86%이고, 회전손실은 약 14%를 차지하고 있다.

표 2. 무부하 시험 결과
Table. 2 Results of no load test of developed IM.

Input power	338.9[W]
Stator copper loss	290.79[W]
Rotational loss	48.11[W]

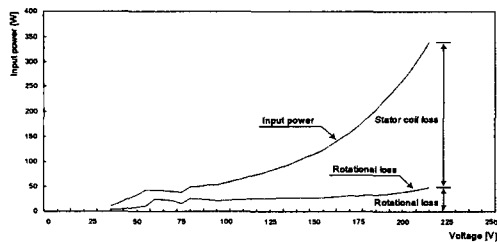


그림 11. 입력전력과 무부하 손실
Fig. 11 Variation of input power and no load loss.

4.4 토크-속도 특성

Fig. 12는 외측회전형 유도전동기의 토크-속도 특성곡

선으로 이중 농형의 토크-속도 특성을 나타내었다.

모든 도체바의 임피던스는 거의 같기 때문에 각 도체바를 통하여 흐르는 평균전류는 같다. Fig. 3에서 큰 단면적을 갖는 아랫부분은 회전자 저항을 상당히 감소시키고, 작은 단면적의 윗부분은 회전자 저항을 증대시킨다.

따라서, 누설자속은 저항이 낮은 도체에서 많이 쇄교하고, 저항이 높은 도체에서 쇄교하는 자속은 적다. 즉, 회전자 누설 리액턴스는 단면적이 작은 쪽이 작게 되고 단면적이 큰 쪽은 크게된다.

높은 슬립에서는 2차 주파수가 1차 주파수와 같이 크므로 2차 전류는 저항보다 리액턴스에 의하여 제한되어 리액턴스가 작은, 회전자 저항이 큰 쪽(단면적이 작은 쪽)으로 흐름으로써 기동토크가 커지며, 낮은 슬립에서는 2차 주파수가 작기 때문에 2차 누설 리액턴스는 대단히 작게 되어 2차 전류는 거의 저항만에 의하여 제한되고 대부분의 전류는 저항이 작은 쪽(단면적이 큰 쪽)으로 흐름으로써 보통의 농형 유도전동기와 같은 운전특성을 갖는 것으로 사료된다.

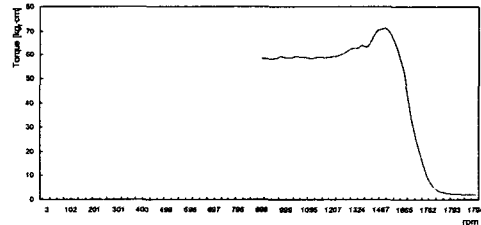


그림 12. 토크 특성
Fig. 12 Characteristics of torque.

4.5 역률 특성

Fig. 13은 외측회전형 유도전동기의 역률을 나타내고 있다.

회전자 제작상의 문제로 공극이 커져 일정한 자속 레벨을 얻기 위해 많은 전류가 자화전류로 사용되어 1차전류와 전압의 위상각이 커져 역률이 저하된 것으로 사료된다.

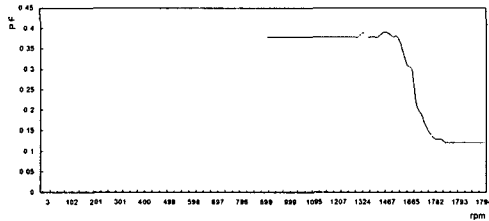


그림 13. 역률 특성
Fig. 13 Characteristics of P.F.

4.6 출력 특성

Fig. 14는 외측회전형 유도전동기의 입력과 출력을 나타내고 있다. 출력은 토크와 각속도의 곱으로 표시할 수 있는데 무부하시 고정자 동손이 일정하게 존재하고 부하가 증가함에 따라 출력이 증가하다가 최대 토크가 발생하는 곳을 기점으로 하여 토크 및 각속도가 감소하여 출력이 저하되고 있다.

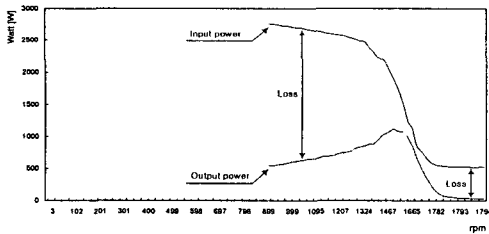


그림 14. 입력과 출력 특성
Fig. 14 Characteristics of input and output power.

4.7 효율 특성

유도전동기의 효율은 출력과 입력의 비로 나타낸다. Fig. 14에서 출력과 입력의 비를 구하여 작성한 것이 Fig. 15의 효율 특성곡선이다.

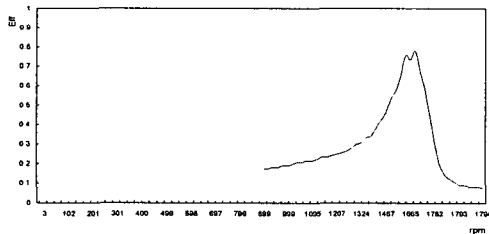


그림 15. 효율 특성
Fig. 15 Characteristics of efficiency.

V. 결론

본 논문에서는 현재 대부분 사용되고 있는 팬용 유도전동기를 대체할 만한 외측회전형 유도전동기를 제작하여 등가회로 정수를 측정하고 부하시험을 통하여 측정된 토크-속도 특성곡선에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시험제작된 외측회전형 유도전동기는 이중 농형의 토크-속도 특성을 가지며, 전동기의 외측이 회전함으로써 회전자에 큰 관성으로 인해 팬의 동력원으로 적합하리라 사료된다.
2. 이중 농형 유도전동기의 회전자 도체는 일반적으로 서로 다른 저항의 도체를 사용하나 많은 제작비용으로 시험제작된 외측회전형 유도전동기에 같은 저항의 도체를 사용하였다. 같은 저항의 도체를 사용하여도 회전자 도체의 단면적 차이로 인한 회전자 저항의 변화로 이중 농형 유도전동기의 토크-속도 특성과 유사한 토크-속도 특성을 얻을 수 있었다.
3. 고정자 저항시험, 무부하 시험 및 회전자 구속 시험을 통해 시험제작된 외측회전형 유도전동기의 정수값을 측정함으로써 기동특성 및 운전 특성 개선의 연구에 필요한 참고자료를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] 김현수 외 2인, "외측 회전자형 심구형 유도전동기의 특성", 한국박용기관학회지, 제26권, 제1호, pp. 30~36, 2002
- [2] 김규탁 외 3인, "구속시험에 의한 선형 유도전동기의 등가회로 정수산정 및 특성 계산, 전기학회논문지, 제43권, 제4호, pp. 580~585, 1994
- [3] Stephen J. Chapman, "Electric Machinery Fundamentals", McGraw-Hill Korea, pp. 353~402, 2001
- [4] Paul C. Krause, "Analysis of Electric Machinery", McGraw-Hill Book Company, pp. 164~188, 1986
- [5] Magtrol, "User's Manual 3-Phase Power Analyzer", Magtrol Inc.

저자 소개



김현수(Hyun-Soo Kim)

1993년 2월 : 한국해양대학교 기
관공학과 학사

1999년 2월 : 목포해양대학교 기
관공학과 석사

2002년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 박사

2002년 3월~현재 : 목포해양대학교 전임강사

※관심분야 : 전기기기, 로봇비전, 영상처리



배철오(Cherl-O Bae)

1993년 2월 : 한국해양대학교 기
관공학과 학사

1997년 8월 : 한국해양대학교 기
관공학과 석사

2001년 8월 : 한국해양대학교 기관공학과 박사

2002년 3월~현재 : 목포해양대학교 전임강사

※관심분야 : 로봇비전, 영상처리, 전기기기



김종수(Jong-Su Kim)

1994년 2월 : 한국해양대학교 기
관공학과 학사

1998년 2월 : 한국해양대학교 기
관공학과 석사

2002년 2월 : 한국해양대학교 기관공학과 박사

2002년 10월~현재 : 한국해양대학교 부설 해사산업
연구소 전임연구원

※관심분야 : 신경회로망을 이용한 전기기기 제어,
전동기 센서리스 속도제어, 전기기기