

자성웨지를 이용한 유도전동기의

특성에 관한 연구

홍성일, 배병춘, *유우현

이천전기 (주) 회전기 개발과

A Study on Characteristics of induction Motor using the magnet wedge

Sung - Il Hong, Byeong - Chun Bae, * Woo - Hyeon Yoo.

LEE CHUN ELETRIC MFG. CO., LTD.

Abstract - This paper presents the methods in improving the efficiency using of magnet wedge. After the energy crises of 1970's, more emphasis was placed on higher efficiencies.

Efficiency of an induction motor can be improved by reducing the total losses, copper losses, iron or core losses etc.

However high efficiency designs result in larger size and cost than standard motors.

In the methods of the reducing the losses, ripple losses of slot flux can be reduced by using the magnet wedge, but the starting torque decrease by means of increasing of leakage reactance.

1. 서론

2차 유틸리티용으로 인한 국제적인 에너지난을 타개하기 위하여 선진 기술국이 주도가 되어 여러 가지 성에너지 기술이 개발되고 있으며 80년대 이후에는 환경문제, 자원절약 문제등과 연계하여 여러가지 기술들이 개발되고 있다.

특히 전력의 소모가 많은 전동기 분야에서는 기기 단체들 포함한 구동시스템 전체의 고효율화가 필요 불가결 하게 되었다.

에너지-코스트의 저감과 자원의 유효이용의 관점에서 회전 전기 기계의 성자원, 성에너지화는 다음과 같이 3가지로 크게 분류할 수 있다

- 1) 기계의 소형화 고효율화에 의한 성자원, 성에너지화.
- 2) 가변속 운전에 의한 성에너지화
- 3) 용도에 맞는 기기 선정에 의한 성에너지화

상기의 (1)은 기계의 성능향상에 의한 성에너지, 성자원의 방법이고 (2)(3)은 시스템 운용의 개선에 의한 성에너지의 방법으로 생각할 수 있다.

특히 전동기 자체가 저손실형인 고효율 전동기는 매우 효과적이다. 전동기 중에서 유도 전동기는 값이 싸고 견고하며 유지·보수가 쉬운 장점 때문에 대부분의 구동 장치로서 필수적으로 사용되고 있다. 따라서 고효율화 연구의 주요 대상은 유도 전동기라 할 수 있다.

고효율 전동기 개발은 고효율 전동기의 개발을 위해 적용되는 여러가지 기술이 유도 전동기의 기본 이론에서 부터 특이 현상까지 전 부분에 걸쳐 광범위 하게 검토되고 최적화 되어야 하기 때문에 일반 범용 전동기는 물론이고 AC 서보 전동기, 고성능 고부가가치 제품개발의 기반기술이 될것이다.

본 논문에서는 전동기의 손실 분포와 저감 방법, 고효율화의 개요에 대하여 기술하고 특히 손실 저감법중에서 자성웨지를 사용한 경우의 특성변화에 대하여 논 하고자 한다.

2. 유도 전동기의 고효율화

일반적으로 전동기의 손실은 전동기의 정격 (형식, 회전속도, 출력, 전압, 주파수)과 기계적, 전기적 요구사항 (치수제한, 기동모모크, 기동전류 제한등)에 따라 변화 한다.

전동기 손실을 분류 하면 크게 다음과 같다.

1) 철손

철손에는 지속의 변화에 의해 발생하는 히스테리시스손 과 와전류손이 있다. 손실은 주로

- 1) 고정자 철심의 요르부의 철손
- 2) 회전부분의 철손

- 3) 철심 슬롯에 의한 자기저항 변동에 따른 회전자 표면에서 발생하는 고조파 와전류손
- 4) 철심단부의 누설자속에 의해 주변 구조물에서 발생 하는 와전류손

등이있다. 철손 저감 방법으로는

- 1) 자속밀도의 저감
- 2) 고정자 규소 강판 사용
- 3) 자성체지 사용
- 4) 비 자성 재료 사용

하는 방법이있다.

2) 동손

동손은 도체중에서 발생하는 저항손으로 회전자 권선과 고정자 권선에서 발생하며 권선저항치와 전류의 제곱에 비례한다.

- 1) 고정자 동손의 저감 방법
 - * 도체 단면적의 증대
 - * 권수의 변경
 - * 절연 두께의 박막화

2) 회전자 동손의 저감 방법

전동기의 토오크 특성을 좌우하기 때문에 다각적인 검토가 필요하며 손실 저감효과는 그다지 크지않다.

3) 기계손

기계손은 회전에 의해 발생하는 손실로 전자 작용과 무관계 하며 베어링 마찰손과 풍손으로 분류된다. 손실의 저감을 위하여

- 1) 용도에 알맞는 베어링 선정
- 2) 냉각팬 구조의 최적화

하는 방법이있다.

4) 표류 부하손

표류 부하손은 누설 자속에 기인하는 경우가 대부분 으로서 부하상태에서만 발생하며 복잡한 구조의 전동기의 '누설자속을 정확히 파악하는 것은 곤란하다. 저감 방법으로는

- 1) 적층철심의 절연향상
- 2) 알루미늄 다이캐스팅 기술 개발
- 3) 누설부분 재료의 비 자성체화.
- 4) 자성체지의 사용
- 5) 기기의 형상변경

등이 있다.

3. 자성체지를 사용한 고 효율화

유도 전동기는 공극이 작기 때문에 슬롯단부에서 공극 자속 밀도의 맥동의 영향이 크고 회전자 및 고정자 철심의 공극면에서의 고조파손을 발생시켜 효율의 저하와 온도상승, 전자소음과 진동, 고조파 토오크의 발생원인이 된다.

이러한 대책의 하나로 자성체지를 사용하는 방법이 고안 되었다.

고정자 슬롯이 개방 슬롯이고 비자성 체지를 사용할때 공극자속밀도는 그림 1의 A와 같이 고정자 슬롯부와 치부분의 자속밀도의 소밀이 발생하기 때문에 자속밀도가 균일한 경우에 비하여 자기 저항이 증가하고 여자전류가 증가한다. 또 회전자 표면의 자속이 불균일하기 때문에 맥동손에 의한 철손이 증가 한다. 그외에 슬롯고조파는 전자음 발생의 원인도 되고 농형 유도 전동기의 시동 과정중의 토오크 특성에 악영향을 끼치는 경우도 있다.

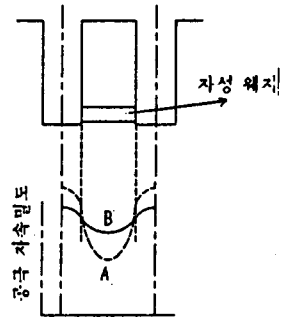


그림1.공극 자속밀도 분포

그러나 자성체지를 사용하면 그림 1의 B와 같이 공극의 자속 밀도의 소밀도가 적기 때문에 여자전류가 감소하고 전동기의 역률이 좋게 되고 철손이 감소하기 때문에 효율이 향상 되고 전자소음의 감소, 토오크 특성의 개선등 많은 잇점이 있다.

그러나 자성체지의 사용에는 적당한 재료와 슬롯 누설리액턴스의 증대에 따른 출력 및 시동 토오크의 저하등의 문제점이 있으며 가공 성형 코스트의 상승과 재질적으로 내열 수명이 나쁘고 신뢰성 및 내구성이 부족한 결점이 있다.

자성핵지 사용시의 특성 계산은 카터계수의 특성 변화에 의한 것이라고 생각할 수 있다. 카터 계수는 회전기 철심의 공극부의 여자에 필요한 기자력을 구하여 여자 전류를 계산할 때 사용되는 중요한 계수이다. 카터계수가 크게되면 여자전류는 설계치 보다 증가한다. 동기기에서는 여자 권선의 전류가 증가하여 권선 온도도 허용 온도 상한도를 초과하여 여자 장치의 용량이 부족하게 될 우려가 있으며 유도기에서는 역률이 악화되어 그 허용 한도를 초과할 수 있다.

4. 자성핵지 사용시 카터 계수의 계산

1) 비자성 핵지인 경우

이 계산법은 대개 전기가 직경이 상당히 클 경우, 즉 전기가 표면을 평면으로 가정할 경우에 대해 슬롯이 존재하기 때문에 공극 길이의 외견상의 증가 정도를 산정한다. 이것을 전기가 직경이 작은 경우에도 그 직경에 비해 공극 길이와 슬롯 피치가 상대적으로 매우 작기 때문에 전기가 표면을 평면으로 가정하여도 지장이 없다. 그림 2에 슬롯부와 평탄 자극표면에 일정한 공극을 유지하고 있는 경우의 자속 밀도 분포를 나타내고 있다. 이때 카터 계수 Kc는 다음과 같이 표현할 수 있다.

- Bmean: 평활 공극 자속 밀도
- Bmax: 공극 자속밀도의 최고치
- Bmin: 공극 자속밀도의 최저치
- g: 공극길이
- t: 슬롯피치
- s: 슬롯폭
- Kc: 카터계수

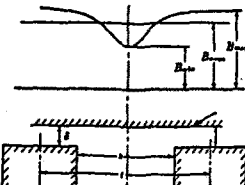


그림 2. 공극 자속 분포

$$k_c = \frac{B_{max}}{B_{mean}} = \frac{t}{t - \gamma g} \dots (1)$$

$$r = \frac{4}{\pi} \left(\frac{s}{2g} \tan^{-1} \frac{s}{2g} - \ln \sqrt{1 + \left(\frac{s}{2g} \right)^2} \right) \dots (2)$$

또 식 (2)는 간단히

$$r = \frac{(s/g)^2}{5 + (s/g)} \dots (3)$$

2) 자성 핵지인 경우

이 경우는 1)절에서 논한것과 같은 해를 구할 수 없기 때문에 일반적으로 전자 계산기에 의한 수치계산으로 해를 구한다. 그러나 이 방법은 시간이 걸리기 때문에 간단히 계산하기 위해서 다음과 같이 가정한다.

가) 치부상의 평활 자극면 표면에서의 단위두께 당 자속 ϕ_1 이외의 치부분에 있는 자속은 핵지 표면과 철심면 사이의 거리에 상당하는 슬롯측면에서 평활 자극면 표면사이에서 자속과 자성핵지의 평활 자극면 표면에서의 자속으로 나누어진다. 따라서 자속은 단위 두께당 자속으로 한다.

나) 자성 핵지는 포화 부분과 미포화 부분으로 나눈다.

다) 가)의 자속의 통로는 그림 3의 같다.

라) 자속 핵지와 공극 사이의 자속 ϕ_2 그림 3와 같은 경로이고 ϕ_1 외의 핵지는 무시한다

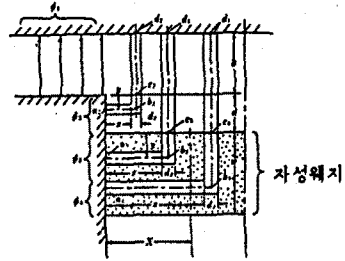


그림 3. 가정의 설명

마) 자성 핵지에서 포화 부분의 투자율은 공기 직 투자율로 한다. 따라서 자속 ϕ 는 치상부의 평활자극 표면에서의 자속 ϕ_1 , 자성핵지에서 공극간의 자속 ϕ_2 , 자성핵지의 자기 포화 부분의 자속 ϕ_3 , 자성핵지의 자기 포화 부분의 자속 ϕ_4 로 구성된다. 각 부분에 있어서 치측면에서 x인거리에 있는 미소부분을 dx로 하면 dx의 공극의 자속밀도 즉, y방향의 자속밀도들 B_{x1}, B_{x2}, B_{x3} 로 하고 dx의 x방향 자속밀도를 각각 $B_{x1}', B_{x2}', B_{x3}'$ 로 한다.

그림에서 자로를 $a2 - b2 - c2 - d2$, $a3 - b3 - c3 - d3$, $a4 - b4 - c4 - d4$ 로 하면 자로의 압테어턴을 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$I_{11} = Bx_1' \frac{x}{\mu_0} \dots\dots\dots (4)$$

$$I_{12} = Bx_1' \frac{y}{\mu_0} \dots\dots\dots (5)$$

$$I_{13} = Bx_1' \frac{\delta}{\mu_0} \dots\dots\dots (6)$$

$$Bx_1' = Bx_2 \dots\dots\dots (7)$$

$$I_{14} = Bx_1' \frac{x}{\mu_0} \dots\dots\dots (8)$$

$$I_{15} = Bx_1' \frac{y}{\mu_0} \dots\dots\dots (9)$$

$$I_{16} = Bx_1' \frac{\delta+d}{\mu_0} \dots\dots\dots (10)$$

$$Bx_1' = Bx_2 \frac{s}{2w} \dots\dots\dots (11)$$

$$I_{17} = Bx_1' \left(\frac{X}{\mu_0} + \frac{x-X}{\mu} \right) \dots\dots\dots (12)$$

$$I_{18} = Bx_1' \frac{y}{\mu} \dots\dots\dots (13)$$

$$I_{19} = Bx_1' \frac{\delta+d}{\mu_0} \dots\dots\dots (14)$$

$$Bx_1' = Bx_2 \frac{s}{2w} \dots\dots\dots (15)$$

여기서 X : 치측면에서의 자기 포화부 길이

μ : 자성체의 투자율

μ_0 : 공기의 투자율

w : 자성체의 두께

d : 자성체에서 공극간의 거리

또, 전 암페어턴을 I로 하고 [22, 132, 142]를 무시

하면]는 다음과 같다.

$$I = I_{11} + I_{12} + I_{13} + I_{14} + I_{15} + I_{16} + I_{17} + I_{18} + I_{19} \dots\dots\dots (16)$$

$$I = Bx_1' \frac{x}{\mu_0} + Bx_1' \frac{y}{\mu_0} + Bx_1' \frac{\delta}{\mu_0} + Bx_2 \left(\frac{x+\delta}{\mu_0} \right) \dots\dots\dots (17)$$

$$I = Bx_1' \frac{x}{\mu_0} + Bx_1' \frac{\delta+d}{\mu_0} = Bx_2 \left(\frac{sx}{2w\mu_0} + \frac{\delta+d}{\mu_0} \right) \dots\dots\dots (18)$$

$$I = Bx_1' \left(\frac{X}{\mu_0} + \frac{x-X}{\mu} \right) + Bx_2 \frac{\delta+d}{\mu_0} = Bx_2 \left(\frac{s}{2w} \left(\frac{X}{\mu_0} + \frac{x-X}{\mu} \right) + \frac{\delta+d}{\mu_0} \right) \dots\dots\dots (19)$$

$$\phi_1 = \int_0^x Bx_1 dx = \int_0^x \frac{I\mu_0}{s+\delta} dx = I\mu_0 \ln \frac{\delta+d}{\delta} \dots\dots\dots (20)$$

$$\phi_2 = \int_0^x Bx_2 dx = \int_0^x \frac{I\mu_0}{2w} \frac{s}{s+\delta+d} dx = \frac{2wI\mu_0}{s} \ln \frac{sX+\delta+d}{\delta+d} \dots\dots\dots (21)$$

$$\phi_3 = \int_x^{\mu_0} Bx_1 dx = \int_x^{\mu_0} \frac{I\mu_0}{2\mu w} \frac{s}{(x-X) + \frac{s}{2w} X + \delta+d} dx = \frac{2wI\mu_0}{s} \ln \frac{s^2 + \frac{sX}{2w}(\frac{\mu}{\mu_0} - 1) + \frac{\mu}{\mu_0}(\delta+d)}{\frac{sX}{2w} + \frac{sX}{2w}(\frac{\mu}{\mu_0} - 1) + \frac{\mu}{\mu_0}(\delta+d)} \dots\dots\dots (22)$$

또, 카터 계수 Kc는 다음과 같다.

$$k_c = \frac{B_{max}}{B_{mean}} = \frac{B_{max}}{B_{mean}} \frac{I}{I} = \frac{\phi_1}{\phi_1'} + 2\phi_2 \dots\dots\dots (23)$$

ϕ_1 는 ϕ_2 의 거리에 있는 2개의 평행 자극 사이에서 슬롯피치 t에서 발생하는 암페어턴에 의해 발생하는 자속이고 ϕ_2 는 $\delta = k_c \delta$ 되는 거리에 있는 2개의 평행 자극 사이에서 치(t-s)부분에서 발생하는 암페어턴에 의해 발생하는 자속으로 다음과 같다.

$$\phi_1 = \frac{\mu_0 I t}{\delta}$$

$$\phi_1' = \frac{\mu_0 I (t-s)}{\delta}$$

$$\phi_2 = \phi_1 + \phi_1'$$

(20), (21), (22), (23)식에서

$$k_c = \frac{\phi_1 + \phi_2}{\phi_1} = \frac{\phi_1 + \phi_1' + \phi_1}{\phi_1} = \frac{t-s + \frac{4w\delta}{t} \ln \left(\frac{sX+\delta+d}{\delta+d} \right) + \mu_0 \ln \left(\frac{s^2 + \frac{sX}{2w}(\mu_0 - 1) + \mu_0(\delta+d)}{\frac{sX}{2w} + \frac{sX}{2w}(\mu_0 - 1) + \mu_0(\delta+d)} \right) + 2\delta \ln \left(\frac{\delta+d}{\delta} \right)}{t} \dots\dots\dots (24)$$

다음에 자성체의 포화 위치 X는 다음과 같은 모델로 구할수 있다.

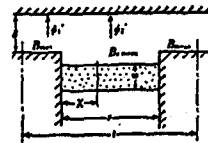


그림4. 계산 모델

ϕ_1' : 치 부분의 자속

ϕ_2' : 치 부분에 상당하는 부분의 자속

Bsmean : 치 부분에 상당하는 부분의 평균 자속밀도

Bw : 자성체의 치 측면의 자속밀도

Bws : 자성체의 포화 자속밀도

$$B_{mean} = \frac{\phi_1' + \phi_2'}{t} = \frac{B_{max}(t-s) + B_{mean} s}{t} \dots\dots\dots (25)$$

$$B_w w = B_w w + B_{mean} X = B_{mean} \frac{s}{2} \dots\dots\dots (26)$$

(1), (25), (26)식より

$$X = \frac{s}{2} \frac{B_w w}{B_{mean}} \frac{s}{(t-k_c(t-s))} \dots\dots\dots (27)$$

5. 실험 결과 및 검토

자성체를 사용한 유도 전동기의 특성을 파악하기 위하여 다음과 같은 유도 전동기를 선정하여 특성을 파악하여 표 1에 나타내었다.

1) 유도 전동기 사양

4P - 37KW - 220/380V

2) 자성체 비투자율 $\mu_r = 8$

표1. 자성웨지의 비 자성웨지의 특성 비교

	비 자성웨지	자성웨지
전 압 V	220	220
카터계수 Kc	1.127	1.0304
무부하 전류 Io	41.4	34.4
무부하 손실 Wo	1140	1015
전격 전류 Io	121	117.5
효율 %	93.1	94.4
역율 %	86.5	88.1
기동 전류 Ist	628	597
기동 토크 %	168	160
최대 토크 %	233	210
최대출력 %	217	190
공극 암페어턴	418	382

표1에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 자성 웨지 사용시 카터계수 Kc는 비 자성 웨지 사용시 보다 감소 한다.
2. 카터계수의 감소에 의해 공극 암페어턴이 감소 하기 때문에 무부하 전류가 감소하고 역률은 증가 한다.
3. 토포크 특성은 운전시 보다 기동시에 큰 영향을 미친다. 이것은 누설 리액턴스의 증가에 의해 기동 전류가 감소하기 때문이다.
4. 자성 웨지를 사용하면 공극에서의 맥동손 및 표면손이 감소하기 때문에 무부하 손실도 감소하고 효율은 증가 한다.

6. 결 론

본 논문에서는 유도 전동기의 고효율화를 위한 여러 요소 중에서 공극부의 자속 맥동을 감소시켜 손실을 저감하기 위하여 자성 웨지를 이용하여 특성 실험을 하였다. 자성 웨지는 성 에너지 대책중의 한부분으로 고조파손을 감소시켜 유도 전동기의 효율은 향상되지만 기계적 내구성의 부족과 슬롯누설 리액턴스의 증대에 따른 출력 및 기동 토포크의 저하가 문제점으로 되고 있다.

앞으로 슬롯 및 웨지의 형태가 다른경우또는 대형 유도 전동기에 자성 웨지의 적용에 대하여 개발 할 필요가 있다.

参 考 文 献

1. 高效率 電動機 製造技術의 開發 현황
강 석형 1992. 春季 심포지움 論集
2. 高效率 電動機 開發의 必要性과 方案
장 석명 1992. 春季 심포지움 論集
3. "フェライト磁性クサビを用いた小形誘導電動機 の 特性 とカ-タ係數", 穴澤外, 電氣學會 論文誌 B. 59-B30
4. "磁性くさびを用いに回轉機鐵心のカ-タ係數" 本外, 電氣學會 論文誌 B. 61 - B99
5. "磁性くさびとその應用"
『富士時報』第45卷 第3號
6. "交流電動機におけ 省資源 省エネルギー"
天坂, 生産 と 電氣, 昭和 63年 2月號