

유도전동기의 자기적 포화가 가변속 제어의 효율에 미치는 영향

정종호*, 윤서진**, 이은웅 **, 문제연***
 서초전자공고*, 충남대**, 한국담배인삼공사***

Effect for Efficiency of Variable Speed Control of Magnetic Saturation in Induction Machine

Jong-Ho Jeong*, Seo-Jin Yun**, Eun-Woong Lee**, Jae-Yun Moon***
 Seocho Electronics Technical High School*, Chungnam National University**, KT&G***

Abstract - In this paper, analytically presented the magnetic saturation impact on the efficiency of induction motor. Especially, in this study concerned with various cases such as included magnetic saturation, constant flux.

유도전동기의 모델을 기초로 하고 있으나 실제에서 유도전동기의 자기적 포화를 무시할 수 없다.[4][5]

따라서 본 논문에서는 자기적 포화가 효율에 미치는 영향을 해석하기 위해 주어진 부하 토오크 및 속도에서 자기적 포화를 고려한 경우, 그리고 자속이 일정한 경우에 대하여 해석하고자 한다.

1. 서 론

산업분야에 널리 사용되고 있는 유도전동기의 효율에 관계된 문제는 1977년 F.J. Nola씨가 경부하에서 공극자속레벨을 줄임으로서 유도전동기의 효율을 개선할 수 있다는 제안을 하면서 부터 연구되기 시작하였다. 즉, 부하에 의존적인 고정자와 회전자 손실과 부하에 독립적인 철손의 균형을 유지하면서 자속을 감소시키는 것이다.[1]

일정 속도로 운전하는 동안 고정자 전압을 조정 하므로써 자속을 제어하며, 가변속 운전에서는 고정자 전압과 주파수의 조합을 조정함으로써 자속을 제어한다는 것이다.

유도전동기의 가변속 구동에서 최대 효율을 얻기 위한 지금까지의 해석으로는 고정자 전압과 고정자 주파수 그리고 슬립을 사용하는 것과 고정자 전류, 슬립주파수와 속도를 사용하는 것으로 나눌 수 있다. 그러나, 이들 모두는 주파수에 따라 철손의 변화를 포함하고 있는 전동기 상수를 필요로 하고, 전동기 상수는 자기적 포화와 회전자 온도에 의존적이라는 결점 때문에 제어가 복잡해진다.[2]

최적 효율 제어의 대부분의 경우는 정격자속레벨보다 상당히 낮은 자속레벨에서 운전하기 때문에 구동시스템의 동특성이 나빠지는 등의 문제점을 가지고 있다.[3]

가변속 구동에서 최적효율을 얻기 위해 고정자 전압과 주파수의 최적 선택을 위해서 요구되고 그러기 위해 여러 가지 가정을 두어 해석적으로 복잡한 것을 간단히 하여 정량적 해석을 하는데, 이와 같은 해석 방법은 유도전동기를 자기적으로 선형인

2. 최적 효율을 위한 해석

유도전동기의 손실은 크게 두가지 영역으로 나눌 수 있다. 하나는 회전자 전류의 제곱에 비례하는 고정자와 회전자의 권선저항에 의한 부하손실이고, 또 하나는 히스테리시스손과 와전류손으로 발생하는 철손 및 기계적인 마찰에 의한 마찰손과 풍손등으로 발생하는 무부하손실이다. 주어진 토오크와 속도에 대해 유도전동기의 효율은 입력 전압과 주파수에 의존적이다. 따라서, 부하가 요구하는 속도와 토오크에 따라 다수의 입력전압과 주파수의 조합이 존재하지만 최적 효율 운전점은 유일하게 존재한다.

주어진 부하 속도와 토오크 하에서 유도전동기의 최적 효율운전에 대한 식은 그림1의 유도전동기 등가회로로부터 유도할 수 있다.

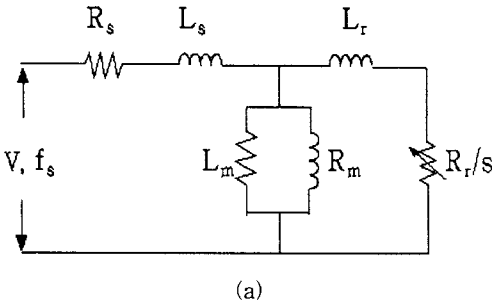
그림1에서 입력전력은 식(1)과 같이 유도할 수 있다.

$$P_{in} = VI \cos \theta = V^2(R_r/s + R_{th}) / [(R_r/s + R_{th})^2 + X_{th}^2] \quad (1)$$

그리고 전기적인 토오크는 식(2)와 같다.

$$T_e = P_{out} / \omega_r = [I^2 R_r / s] / [\omega_s (1-s)] \\ = [V^2 R_r / s] / [\omega_s (1-s) [(R_r/s + R_{th})^2 + X_{th}^2]] \quad (2)$$

최적화 과정을 통해서 최적효율을 얻을 수 있는 고정자 주파수와 전압은 식(3)과 식(4)으로 유도할 수 있다.



$$Z_{th} (=R_{th} + jX_{th})$$

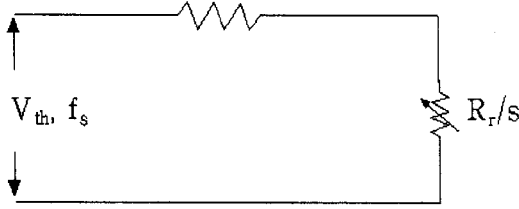


그림1 (a) 유도전동기의 등가회로
(b) 테브낭 등가회로

$$\omega_s = \omega_r (R_{th}/R_r) \quad (3)$$

$$V = \sqrt{\frac{T \omega_s [(R_{th} + R_r/s)^2 + X_{th}^2]}{(R_{th} + R_r/s)}} \quad (4)$$

이때의 슬립 s 는 식(5)와 같다.

$$s = 1 - (R_r/R_{th}) \quad (5)$$

식(3)과 식(4)로부터 유도전동기가 최적 효율로 운전되는 동안 고정자 주파수는 회전자속도에만 의존적이며, 고정자 전압은 토크와 고정자 주파수의 제곱근에 비례한다는 것을 알 수 있다.

3. 자기적인 포화를 고려한 해석

자기적 포화에 의한 영향을 시뮬레이션을 통해 해석하기 위해 참고문헌[4]에서 수행한 실험데이터를 curve fitting하여 구한 식 식(6)과 식(7)을 이용하였다. 공극자속레벨에 따른 포화계수 KR_m 과 KX_m 의 변화는 그림2와 같다.

$$KR_m = -0.5895 * x^4 - 0.0088 * x^3 + 0.2882 * x^2 + 0.7983 * x + 0.47 \quad (6)$$

$$KX_m = -4.8156 * x^4 + 10.4226 * x^3 - 9.27 * x^2 + 3.831 * x + 0.6825 \quad (7)$$

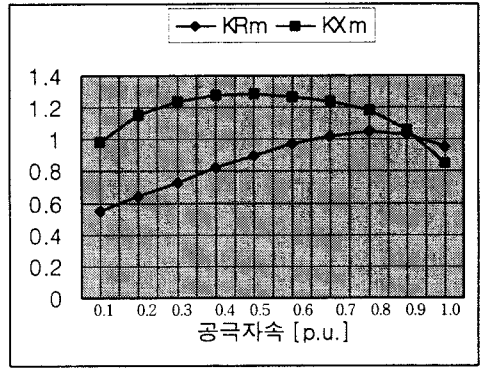


그림2 포화 계수 곡선

그림3은 정격부하토크에서 자기적 포화를 고려한 효율과 자속을 일정하게 유지한 경우에 대한 결과이고 그림4와 그림5는 60%의 부하토크와 40%의 부하토크에서 자기적 포화를 고려한 효율과 자속을 일정하게 유지한 경우에 대한 결과이다.

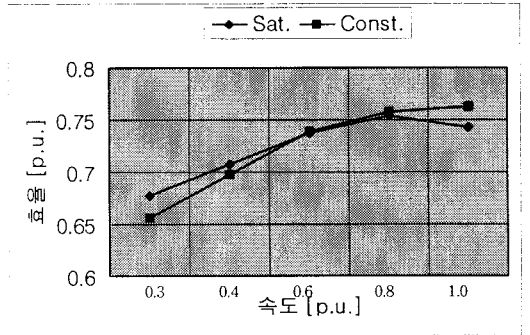


그림3 정격부하토크[T=1.0 p.u.]에서 자기적 포화를 고려한 경우와 일정자속에 대한 효율

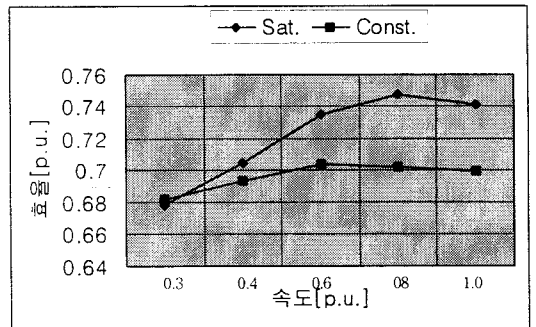


그림4 60%부하토크[T=0.6 p.u.]에서 자기적 포화를 고려한 경우와 일정자속에 대한 효율

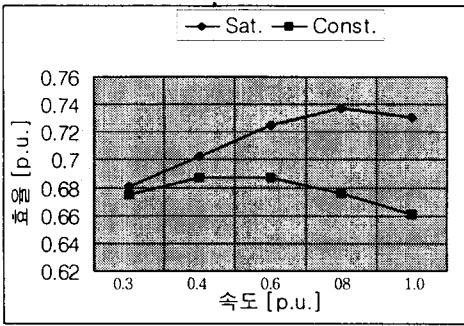


그림5 40%부하토포크[T=0.4 p.u.]에서 자기적 포화를 고려한 경우와 일정자속에 대한 효율

그림3의 정격 부하에서 포화를 고려한 경우와 자속을 일정하게 유지한 경우 사이에 효율에는 큰 차이를 보이고 있지 않지만, 그림4와 그림5는 각각 60%의 부하 토포크와 40%부하 토포크에서 포화를 고려한 경우와 자속을 일정하게 유지한 경우 사이에는 효율에 있어서 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, 속도 0.5[p.u.]이상에서는 부하가 낮을수록 그 차이는 더 심해짐을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 자기적 포화를 고려한 경우와 자속이 일정한 경우, 유도전동기의 가변속제어에서의 효율에 대해 해석하였다.

부하를 정격 부하에서 60%와 40%로 낮추면서 일정자속 제어와 자기적 포화를 고려한 경우의 효율을 비교해 본 결과 경부하로 내려갈 수록 자기적 포화를 고려한 경우가 더 뛰어난 성능을 지니고 있음을 알 수 있다. 또한, 정격 부하 토포크에서는 일정자속제어와 자기적 포화를 고려한 경우 전동기의 효율에 그다지 큰 영향을 주지 않음도 확인할 수 있다.

표. 해석에 사용된 유도전동기 상수 [p.u]

3상 유도전동기, 4p/2hp, 220V, 60Hz	
$R_s = 0.05$	$R_r = 0.032$
$X_s = 0.1045$	$X_r = 0.1045$
$R_{m0} = 25.67$	
$X_{m0} = 1.365$	

(참 고 문 헌)

[1] F.J.Nola, "Power factor control system for AC induction motor", U.S. Patent 4,052,648, Oct. 4, 1977

[2] D.S.Kirschen, D.W.Novotny, and T.A.Lipo, "Optimal efficiency control of an induction motor drive", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. EC-2, No.1, pp. 70-75, 1987.

[3] Heung G. Kim, Seung K. Sul, and Min H. Pak, "Optimal efficiency drive of a current source inverter fed induction motor by flux control", IEEE Transactions on Industry Application, Vol. IA-20, No.6, pp. 1453-1459, 1984.

[4] Sen Chen, Sheng-Nian Yeh, "Optimal efficiency analysis of induction motors fed by variable-voltage and variable-frequency source", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 7, No. 3, 1992.

[5] Daniel S. Kirschen, Donald W. Novotny, Warin Suwanwisoot, "Minimizing Induction Motor Losses by Excitation Control in Variable Frequency Drives", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-20, No. 5, 1984