

인버터 구동유도전동기의 공극길이 변화에 따른 특성해석

*김재우, *권병일, *홍수현, **김병택, ***우경일,
*한양대학교 대학원, **(주)삼성전기, ***한양대 공학기술연구소

The Characteristic Analysis of An Inverter-Fed Induction in Variation of Airgap Length

*J. W. Kim, *B. I. Kwon, *S. H. Hong, **B. T. Kim, ***K. I. Woo

*Graduate School of Hanyang University, **Samsung Electro-mechanics Co. Ltd, ***RIET

Abstract - This paper shows the characteristic analysis for an inverter fed induction motor by the 2-D F.E.A. in variation of the air gap length. Harmonic effects of the induction motor with different air gap length driven by the 6 step voltage of inverter are investigated. And the results of the characteristic analysis on the inverter fed induction motor are compared with those of sinusoidal voltage fed motor.

표 1 해석모델의 사양
Table 1. Specifications of analysis model

출력	1.5(kW)
극수	4
입력전압	380(V)
전원 주파수	60(Hz)
고정자내경	95(mm)
고정자외경	160(mm)
적층폭	80 (mm)

1. 서 론

유도전동기의 구조는 크게 고정자, 회전자 그리고 공극의 세 부분으로 나누어 볼 수 있다. 이 중 공극은 고정자에서 회전자로 에너지의 전달을 수행하는데 매개 역할을 한다. 즉 고정자에서 입력되는 전기에너지는 공극에서 자기에너지형태로 변환되어 회전자로 전달되므로 공극의 형상을 설계하는 방법에 따라 전동기의 효율, 역률 특성에 영향을 주게된다. 일반적으로 공극은 전동기의 전체 자기저항의 대부분을 차지하며, 지그재그 인덕턴스, 브릿지부분의 인덕턴스등의 공극에서 발생하는 누설 인덕턴스에도 영향을 미치므로 전동기의 효율관점에서는 공극이 작은 편이 유리하다. 반면 공극이 너무 작은 경우, 기계적으로 가공이 어려우며 전자력에 의한 진동특성이 악화될 수 있고 전동기 파손의 원인이 될 수 있다.

정현파 구동시는 토오크 맥동이 비교적 작으며, 누설 인덕턴스가 작은 편이 유리하므로 공극이 가급적 작은 편이 좋다. 반면 인버터구동 유도전동기의 경우는 구동 전압에 기본파 이외에 다수의 고조파 성분을 포함하여 고조파전류가 발생한다[1]. 이로 인해 고조파 손실의 증가, 토오크 맥동, 응력이 증가되어, 온도, 진동특성이 악화된다. 따라서 인버터 구동 유도전동기의 고조파 손실을 저감하기 위해, 누설 인덕턴스를 일정량 증가시키며, 또한 큰 진동특성으로 작은 공극을 유지하기 힘들므로 공극을 정현파구동시보다 크게 하는 경향이 있다[2].

본 논문에서는 1.5kW급의 3상 농형유도전동기를 인버터로 구동시킬 때 공극길이에 따른 특성을 정현파 구동시와 비교하여 분석하였다. 특성은 효율과 역률특성 및 토오크의 맥동특성에 초점을 맞추었으며, 해석기법으로는 2차원 시간차분 유한요소법을 적용하였다.

2. 공극 길이에 따른 전동기 특성해석

2.1 해석모델

해석모델은 1.5kW 급의 3상 농형 유도전동기로서 사양 및 형상은 표 1과 그림 1에 나타내었다.

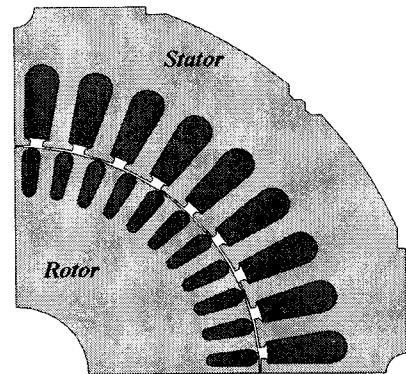


그림 1. 해석 모델

2.2 2차원 시간차분 유한요소법의 정식화

특성해석방법은 전압원을 구동원으로 하는 시간차분 유한요소법을 이용하였으며, 3상 농형 유도전동기의 2차원해석을 위한 지배방정식은 식(1)와 같다.

$$\frac{1}{\mu} \left(-\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} \right) = -J_o + \sigma \frac{\partial A}{\partial t} + \sigma \frac{U_b}{l_b} \quad (1)$$

여기서, σ 는 바의 도전율, U_b 와 l_b 는 해석영역내의 회전자 바 양단에 걸리는 전위차와 회전자 바의 길이를 각각 나타낸다. 그리고 고정자의 각 상에 대하여 Kirichhoff의 전압법칙을 적용하면, 식(2)와 같은 고정자 회로방정식을 구할 수 있다.

$$\frac{d}{dt} (\psi) + [L_o] \frac{d}{dt} (I) + (R) (I) = (V) \quad (2)$$

여기서 ψ 는 고정자 권선을 채교하는 자속량, L_o 는 고정자 권선의 단부에서 발생하는 누설 인덕턴스이다. 회전자에 의한 회전운동에 대한 고려는 식(3)로 표현되는 운동방정식을 계 방정식과 결합하여 해석하였다.

$$J_m \frac{d\Omega_m}{dt} = T_s - T_l \quad (3)$$

여기서, J_m : 회전자의 관성모멘트, Ω_m : 회전자의 기계적 각속도, T_l : Load torque, T_s : Shaft torque 이다.

3. 해석 결과

그림 1의 유도전동기 공극길이를 0.3mm~0.55mm 까지 0.05mm 간격으로 변화시켰으며, 인버터 전압 및 정현파 전압에 대해 각각 해석하였다. 부하토크는 8(Nm)로 일정한 것으로 가정하였으며, 전압과 시간차분 간격 등의 계산 조건을 표 2에 제시하였다.

표 2. 해석조건
Table 2. Conditions for analysis

전압파형	6 스텝 구형파	정현파
전압 [V]	486(DC link단 전압)	380
주파수 [Hz]	60	
토크 [Nm]	8.0	
time step	0.0001	
공극길이	0.3-0.55[mm]	

3.1 정현파 구동시 특성변화

정현파 구동시 공극에 따른 상전류 특성을 그림 2에 나타내었으며, 이에 따르면 공극이 증가할수록 전류가 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 공극이 커질수록 전동기의 자기저항이 커지며, 이에 따라 여자전류성분이 증가한 것으로 볼 수 있다. 그리고 토크 특성을 그림 3에 나타내었으며, D.F.T(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 토크의 스펙트럼 분석결과를 얻었으며 평균토크를 제외한(평균토크는 8(Nm)로 동일) 고조파 성분만을 그림 4에 나타내었다. 이로부터 공극길이가 증가할수록 토크 맥동은 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 회전자와 고정자의 회전시 발생하는 자기저항변화가 감소하기 때문이다.

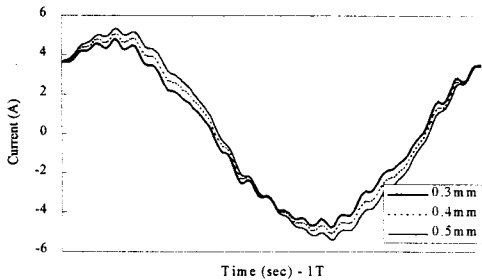


그림 2. 상전류 특성(정현파구동)

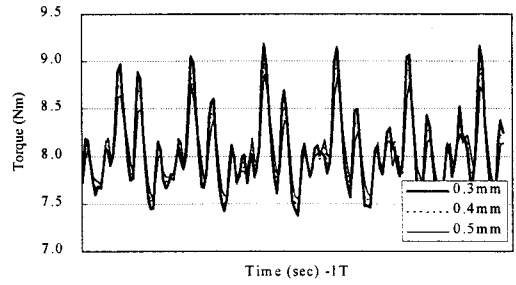


그림 3. 토크 특성(정현파구동)

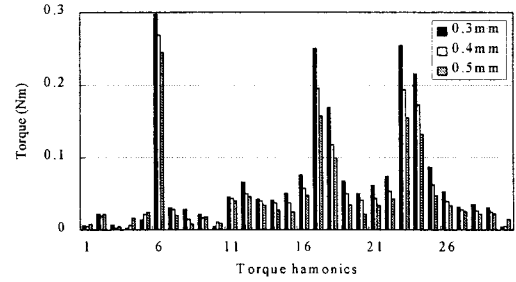


그림 4. 토크의 고조파 스펙트럼(정현파구동)

3.2 인버터 구동시 특성변화

인버터 구동시 공극길이가 변할 때의 상전류 특성과 이의 주파수 스펙트럼 결과를 그림 5와 그림 6에 각각 나타내었다. 이를 통해 전류의 기본파 성분은 정현파 구동시와 동일하게 공극이 클수록 증가하는 것을 알 수 있으나, 고주파 성분, 특히 5차, 7차, 11차, 13차(인버터 전압에 의한 성분)의 크기는 공극변화에 대하여 거의 일정한 것을 알 수 있다.

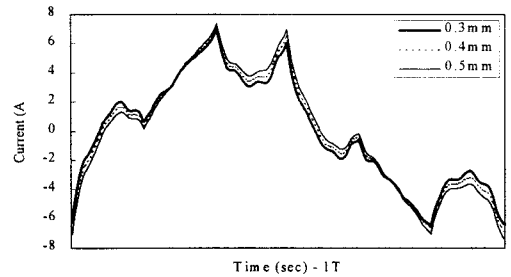


그림 5. 상전류 특성(인버터구동)

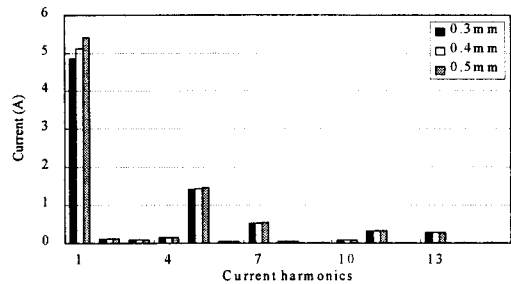


그림 6. 상전류의 고조파 스펙트럼(인버터구동)

인버터 구동시 토오크 특성을 그림 7에 나타내었으며 고조파 성분의 스펙트럼결과를 그림 8에 제시하였다. 인버터 전압에 의해 6차 고조파성분이 매우 크게 발생하며, 공극변화에 따라 거의 일정한 특성을 나타낸다. 반면 슬롯수와 관계되는 슬롯고조파 성분은 감소하는 특성을 나타내는 것을 알 수 있으며, 진동특성에는 유리한 결과이다.

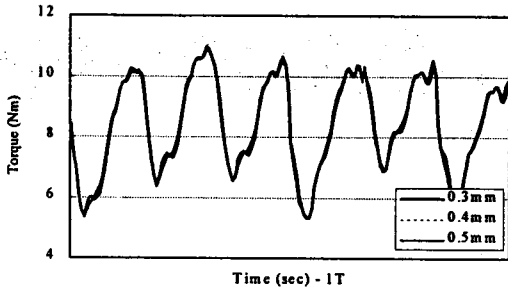


그림 7. 토오크 특성(인버터구동)

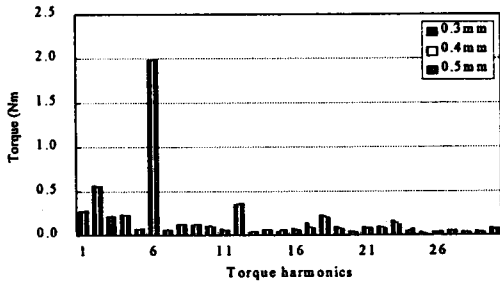


그림 8. 토오크의 고조파 스펙트럼(인버터구동)

3.3 효율 및 역률특성 비교

유도전동기의 공극길이 변화에 따라 효율특성을 계산하였으며, 효율 η 를 식(4)와 같이 정의하고 이때의 입력 P_{in} 과 출력 P_{out} 을 식(5)와 식(6)을 이용하였다.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (4)$$

$$P_{in} = \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} p_{in}(t) dt}{T} = \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} v(t) i(t) dt}{T} \quad (5)$$

$$P_{out} = \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} \omega_m(t) T_s(t) dt}{T} \quad (6)$$

식(4)를 이용하여 계산한 효율특성을 정현파 구동시와 인버터 구동시와 비교하여 그림 (9)에 나타내었다. 그림으로부터 정현파구동에 비해 인버터 구동시의 효율이 약 8.5% 가량 감소하며, 정현파 및 인버터 구동시 모두 공극의 길이가 증가할수록 효율은 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나, 공극길이에따른 효율의 감소율은 인버터구동의 경우가 적은 것을 알 수 있으며, 특히 정현파 구동시는 공극길이가 증가할 때 효율은 거의 선형적으로 감소하지만, 인버터 구동시는 0.3~0.4mm까지의 범위에서 효율은 비교적 적은 비율로 감소하다가 0.4mm이상의 범위에서 감소율이 증가하는 것을 알 수

있다. 즉 인버터 구동시와 같이 토오크 맥동이 큰 경우, 효율의 감소가 비교적 작다면 공극이 큰 편이 전동기안정성에 유리하므로 공극은 0.3~0.4mm의 범위에서 전동기의 사용목적 등에 따라 선택해야 할 것이다.

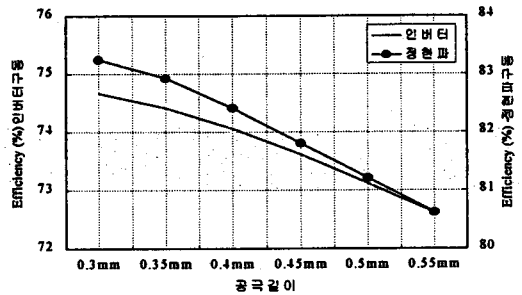


그림 9. 효율 특성 비교

그림 10에 전동기의 역률 특성을 나타내었다. 이때 인버터 구동시 역률은 전류의 기본파 성분의 역률만을 나타낸 것이다. 그림으로부터 공극이 증가할수록 역률도 감소하지만 감소율은 인버터 구동시가 작은 것을 알 수 있으며, 또한 전반적으로 인버터구동의 경우가 정현파 구동시보다 역률은 높은 것으로 나타난다.

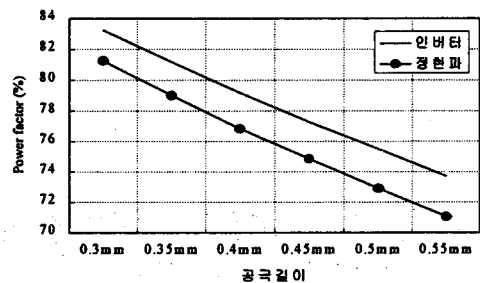


그림 10. 역률 특성 비교

4. 결 론

본 논문에서는 1.5kW급의 삼상 농형 유도전동기의 인버터 구동시 공극에 따른 특성을 해석하고, 공극이 변할 때 효율, 역률 및 토오크 특성을 정현파 구동시와 비교하였다. 해석결과로부터 정현파 구동 및 인버터구동의 두 경우 모두 공극이 증가할수록 효율 및 역률 특성은 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 인버터 구동의 경우 공극에 따른 효율의 감소추이는 정현파 구동시와 다르며 0.3~0.4mm부근에서는 효율변화가 비교적 작다. 따라서 토오크 맥동 특성은 거의 같은 경우, 전동기의 안정성을 고려한다면 공극선택의 범위는 정현파 구동시보다 넓으며 효율과 안정성을 동시에 고려한 설계가 요구되는 것을 알 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] C. James Ericson, "Motor design features for adjustable-frequency drives", IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 24, No. 2, pp. 192-198, 1988.
- [2] 한국 철도 차량 주식회사(1999), "전인전동기 개발(3차년도 연차보고서)".