

## 운전특성을 고려한 인버터 구동 유도기의 해석

° 오창윤, 이광호, 박영일, 윤선기, 김경호, 조윤현  
동아대학교 전기공학과

### Analysis of Inverter-Driven Induction Motor Considering Driving Characteristic

° Chang Yun Oh, Kwang Ho Lee, Young Il Park, Sun Ky Youn, Kyoung Ho Kim, Yun Hyun Cho  
Dept. of Electrical Engineering, Dong-A Univ.

**Abstract** - At the present, development of microelectronics technology caused an increase in using of induction motor for variable speed motor drive system instead of dc motor. This paper is described the design of induction motor fed by inverter and analyzed 1.5kW motor performance using by finite element method (FEM).

### 1. 서 론

산업이 고도화됨에 따라 자동화, 에너지 절약화, 시스템화의 필요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 기술을 확보하기 위해서는 가변속 전동기와 모터 드라이브 기술이 핵심요소기술로서 그 중요성이 나날이 증대되고 있다. 최근에 반도체 회로의 발달로 기존의 가변속 전동기로서 주류를 이루고 있는 직류전동기보다 구조적으로 견고하며 간단한 교류 유도전동기의 사용이 증대되고 있다. 교류 전동기의 구동 효율 및 성능을 증대시키기 위해서는 교류 전동기의 파라메터 및 각 운전점에 따른 상태변화를 고려한 전용 가변속 전동기의 최적설계 및 해석 기술의 필요성이 대두된다. 그러나 일반 가변속 시장의 경우, 시스템의 대소를 불문하고 가변속을 위해서는 기존의 산업용전동기를 인버터용 전동기로 대치하고 있다. 이로 인하여 전동기의 효율저하 및 소음 발생등이 문제점으로 부각되고 있어 이것을 개선할 수 있는 해석 기술이 필요하다.

본 논문에서는 인버터 구동 유도 전동기의 특성을 고려한 설계 방법을 제안하고, 실제로 1.5kW 유도전동기 특성을 유한요소법으로 해석하고자 한다.

### 2. 유도전동기의 특성

유도전동기는 다른 전동기에 비해 구조가 간단하다는 장점을 갖고 있다. 구조가 간단하기 때문에 가격이 저렴하고, 견고하며, 파괴되거나 소모되는 부분이 적다. 따라서 취급이 편리하고 보수가 용이하다. 그리고 회전자의 회전속도도 안정된 속도로 회전을 계속하기 때문에 부하가 무거워지거나 가벼워져도 속도가 변하지 않는 장점을 가지고 있다. 특히 농형 유도전동기는 가정용, 산업용에 많이 이용되고 있다.

인버터 구동 유도전동기의 전형적인 응용범위를 속도와 토크 그리고 출력과의 관계로 그림1에 나타내었다. 구동장치는 일정출력에 동작할 때의 기본속도를 정하는 것이 중요하다. 일정한 출력범위는 점점 증가되어 오늘날에는 거의 최대속도가 기본속도의 3~5 배가 된다. 지금까지는 분권여자 dc전동기가 이용되었다. 즉, 일정한 토크에서 전기자를 제어했고, 일정한 출력범위에서 약제자제어를 했다. 하지만 이런 dc구동장치를 이용하는 기술은 전동기의 가격과 기계적인 정류자에 의한 최대속도의 한계점이 발생한다.

현재에는 field oriented technique에 의해 제어가 되는 인버터에서 구동이 되고 높은 토크밀도를 가진 유도전동기의 설계를 이용하게 되었다. ac구동장치는 정류자가 없기 때문에 최대속도의 한계를 극복할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이것은 단지 인버터의 출력주파수에 의해서만 영향을 받는다. 또한 ac구동장치는 유지보수가 간단하다. 하지만 유도전동기를 이용하는데 고려해야 할 사항도 있다. 그것은 전동기의 과부하 능력에 의한 토크 특성이 제한이다. 최대토크는 공급전압의 제곱과 비례하고, 공급주파수의 제곱과 반비례한다. 즉 유도전동기를 이용해서 설계를 할 때에는 이런 사항을 고려해야 할 것이다. 즉, 인버터구동 유도전동기를 설계할 때에는 높은 토크능력과 넓은 일정한 출력 동작범위를 고려해야 한다. 그리고 구동장치는 좋은 동특성을 가져야 할 것이다.

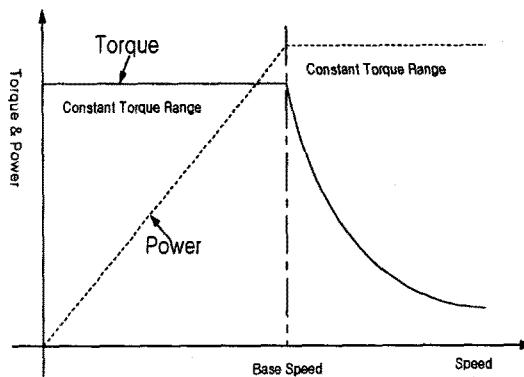


그림 1. 속도와 토크, 속도와 출력 특성

### 3. Flux Weakening Operation

인버터구동용 dc전동기를 사용할 때처럼 유도전동기도 일정 출력범위에서 약제자 동작을 해야 한다. 이런 약제자 동작은 높은 속도에서 공급전압을 제한할 수가 있다. 일정출력범위에서 전동기의 토크는 속도와 반비례한다. 이런 토크의 값은 약제자동작에 의해서 얻을 수 있다. 전동기의 최대토크는 공급주파수의 제곱에 반비례하기 때문에 전동기는 최대속도에서 요구하는 부하토크를 내지 못한다. 그러나 속도범위를 1~3 또는 1~5에서의 약제자동작은 최대 속도에서 충분한 토크를 낼 수 있다. 다음은 충분한 토크를 내는데 많이 이용되는 방법을 나타낸 것이다.

#### I. 대형기에서의 정격출력을 줄인다.

이 방법은 대형 전동기에 널리 이용되고 있는 것이다.

이것은 최대와 요구 토크사이의 증가된 더미비(dummy ratio)를 확장된 일정출력범위에서 얻을 수 있다. 하지만 이 방법은 전동기 자체와 넓은 약계자 범위관점에서 보면 효율이 감소하거나 전동기의 크기가 커지는 등 경제적인 것이 아니다. 이에 반해서 장점은 인버터의 가격을 줄일 수 있다는 것이다.

## II. 전동기의 정격 전압을 줄인다.

이 방법은 구동장치의 대량생산에 많이 이용되는 것이다. 전동기의 정격전압을 줄이고 넓은 일정출력범위를 얻을 수 있다. 그럼 2에서 구동장치의 전압제어방법이 보여진다. 같은 출력에서의 전동기의 정격전압을 줄이면 정격전류는 증가한다. 이 방법은 정격출력을 바꿀 수는 없지만 높은 전류 인버터능력을 얻을 수 있다. 하지만 이것은 인버터의 가격을 증가시키기 때문에 인버터의 가격차원에서 보면 경제적인 방법이 아니다.

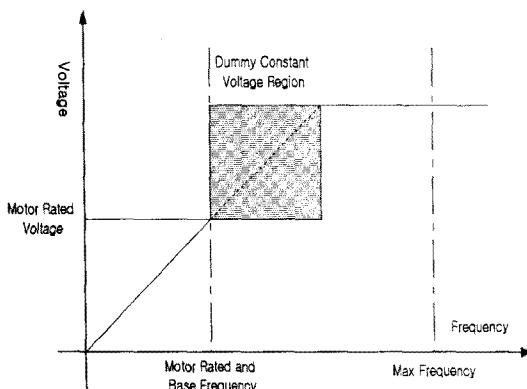


그림 2. 전동기 설계 전압과 최대 인버터 전압과의 더미 일정전압 제어

## III. 일정한 전압에서 더미제어(dummy control)

이 방법은 앞에서 기술한 방법과는 다른 특성을 가지고 있다. 이것은 기본 속도에서 정격전압을 줄여야 한다. 기본 주파수에서의 전압과 주파수특성 기울기는 변화한다. 그리고 전압은 최대값으로 증가한다. 이런 방법으로 일정한 전압에서의 더미제어를 할 수 있다. 그럼 3은 이 더미 제어방법을 나타내고 있다. 이것은 전압이 증가하므로 토크의 감소가 제한되기 때문에 일정출력범위를 증가시킬 수 있다. 이것은 전류의 영향에 의해서 인버터의 가격이 증가되는 결점이 있다.

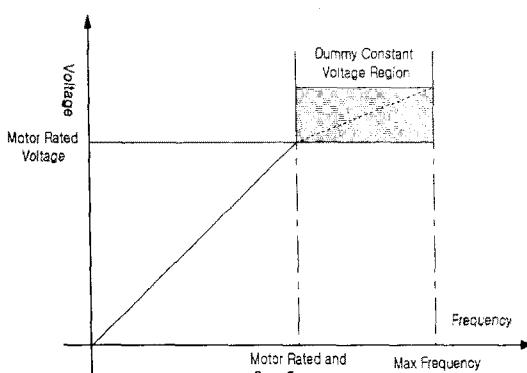


그림 3. 일정출력구간에서의 더미전압제어

## IV. 권선정류(wringings commutation)

이 방법은 널리 이용되는 것은 아니지만 넓은 일정출력범위를 얻을 수 있다. 권선의 결선은 Y결선 또는  $\Delta$ 결선 모두 사용할 수 있다. 전동기는 일정토크구간 또는 일정출력구간에서 동작한다. 권선은 기계적 또는 solid state switches의 방법으로 정류가 된다. 대부분 정류는 자동적으로 이루어지지 않지만 속도 구간을 끌라서 정류가 어떤 특정한 속도일 때 일어나게 할 수 있다. 제어를 하는 것은 크게 문제점은 없지만 구동장치의 동특성 제한을 가져온다.

## 4. Constant Power Range Analysis

일정출력구간 해석은 약계자동작 기술을 이용하면서 전동기의 설계를 결정하는 것이 필요하다. 특히 전류의 항으로 전동기와 인버터의 조건을 증명하는 것이 중요하다. 전동기의 토크식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{3p}{\omega} V^2 \frac{\frac{R_r}{s}}{\left(\frac{R_r}{s} + (\omega L_{lr})^2\right)} \quad (1)$$

여기서,

$$\begin{aligned} R_r &:\text{회전자 저항}, L_{lr} &:\text{회전자 누설인덕턴스} \\ V &:\text{공급전압}, p &:\text{극쌍수}, \omega &:\text{전기각속도} \\ s &:\text{슬립}, T &:\text{토크} \end{aligned}$$

토크와 전류의 관계식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I^2 = \frac{T}{3pL_{lr}} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2T\omega^2 L_{lr}}{3pV^2} \right)^2} \right] \quad (2)$$

그리고 전동기의 최대 토크  $T_b$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_b = \frac{3p}{2} \frac{V^2}{\omega^2 L_{lr}} \quad (3)$$

전류의 식을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$I^2 = \frac{T}{3pL_{lr}} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1}{\sigma} \right)^2} \right] \quad (4)$$

여기서,  $\sigma$ 은 과부화계수이다.

일정한 출력구간에서의 토크의 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T = \frac{P_b}{\omega} \quad (5)$$

여기서,  $P_b$ 는 기본속도에서의 부하출력이다.

최대속도에서의 토크와 기본속도에서의 토크의 관계는 다음식과 같다.

$$T_M = T_b \frac{\omega_b}{\omega_M} = \frac{T_b}{\rho} \quad (6)$$

여기서,

$$T_M : \text{최대속도에서의 부하토크}$$

$$T_b : \text{기본속도에서의 부하토크}$$

$$\omega_b : \text{기본속도}, \omega_M : \text{최대속도}, \rho = \frac{\omega_M}{\omega_b} \text{ 이다.}$$

또한 최대속도에서의 전류와 기본속도에서의 전류의 관

계는 다음식과 같다.

$$\frac{I_M^2}{I_b^2} = \frac{1}{\rho} \frac{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\sigma_M}\right)^2}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\sigma_b}\right)^2}} \quad (7)$$

여기서,

$I_M$ : 최대속도에서의 전류

$I_b$ : 기본속도에서의 전류

$\sigma_M$ : 최대속도에서의 과부하계수

$\sigma_b$ : 기본속도에서의 과부하계수

## 5. 해석 결과

인버터구동용 유도전동기의 실제 모델을 상용 유한요소법 프로그램으로 해석을 해 보았다. 표1은 이 전동기의 사양이다. 그리고 그림 4는 해석 전동기의 모델이다. 그림 6과 그림 7은 전동기의 자속분포와 공극에서의 자속밀도를 나타낸 것이다.

표 1. 해석모델의 사양

항목	값
용량(kW)	1.5
극수(pole)	2
속도(rpm)	7200
정격 주파수(Hz)	120
정격 전압(V)	220
정격 전류(A)	6
고정자 외경(mm)	83
고정자 슬롯수	18
회전자 슬롯수	23

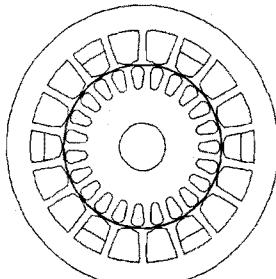


그림 4. 전동기의 모델

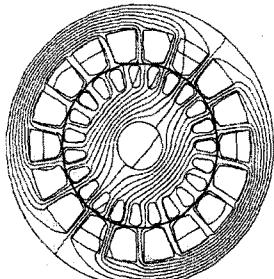


그림 5. 자속분포도

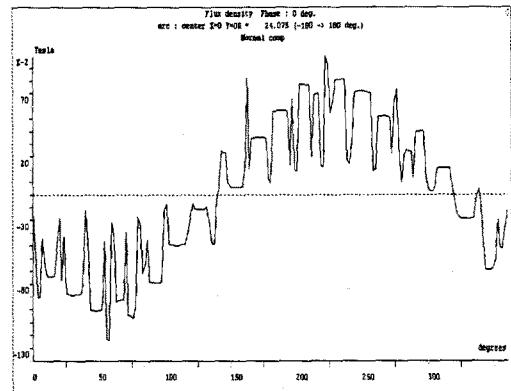


그림 6. 공극에서의 자속밀도

## 6. 결론

본 논문에서 인버터용 유도전동기의 설계시 고려해야 할 점을 일정 출력제어 차원에서 나타내었다. 해석시 기본속도에서의 과부하계수와 일정 출력 속도비가 중요한 기본적인 항목이다. 그리고 1.5kW의 전동기를 해석 모델로 특성을 고찰해 보았다. 차후 이 연구를 바탕으로 계속 발전 시켜서 인버터 구동 유도 전동기 핵심 요소인 설계사양을 결정하는 방법과 유한요소법에 의한 특성해석기술을 개발하고자 한다.

### (참고문헌)

- [1] CYRIL G. VEINOTT, E.E., D.Eng., "THEORY AND DESIGN OF SMALL INDUCTION MOTORS", McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC., 1959.
- [2] E.S.Hamdi, "DESIGN OF SMALL ELECTRICAL MACHINES", JOHN WILEY & SONS, 1994.
- [3] 糸見 和信, "實用 モータ設計マニュアリ, 総合電子リサーチ", 1992.