

능력가변을 위한 단상유도전동기의 극수변환 방법에 관한 연구

A Study of the Pole Change Method of the Single-Phase Induction Motor for Capability Variation

김규현^{1*}, 정태욱²

Gyu-Heon Kim^{1*}, Tae-Uk Jung²

〈Abstract〉

Capacitor-run single-phase induction motor is cheaper than motors that use permanent magnets and is widely used in home appliances and industries based on relatively high durability and productivity. It can also be operated by line. However speed cannot be controlled because the line frequency is free. In this paper we dealt pole change method one of the method controlling speed of capacitor-run single-phase induction motor. The conventional pole change method is difficult to improve the power and efficiency of the motor because the composition of the pole change device is complex and do not have enough area of the windings because of windings not used according to the driving conditions. In this paper, we proposed the pole change method that is used main windings and auxiliary windings at 4 poles operation and used auxiliary windings as compensation windings at 2 poles operation. The proposed method was verified through finite element analysis.

Keywords : Single-phase induction motor, Capability variation, Pole change, Winding arrangement, Harmonic reduction

1* 주저자, 경남대학교 전기공학과, 석사과정

E-mail: rbgjs8279@naver.com

2 교신저자, 경남대학교 전기공학과, 교수

E-mail: tujung@kyungnam.ac.kr

1* Dept. of Electrical Engineering of Kyungnam University

2 Dept. of Electrical Engineering of Kyungnam University

1. 서론

단상유도전동기는 상용전원을 통해 별도의 변환 장치 없이 구동할 수 있다. 그중에서, 콘텐서 구동형 단상유도전동기는 효율 및 기동 특성이 우수하여 가전분야나 산업분야에 걸쳐 널리 사용되고 있다.

하지만 상용전원을 그대로 사용하는 단상유도전동기는 부하에 따라서만 속도가 변하기 때문에 정토크 운전 범위가 작다[1-3].

이러한 단점을 보완하기 위한 단상유도전동기의 속도를 제어하는 방법으로는 극수변환, 주파수변환 등이 주로 사용되어왔다[4].

주파수변환을 통하여 단상유도전동기의 속도를 제어 하려면 인버터를 사용해야 함으로 다른 방식에 비해 시스템 구성이 복잡하며, 비교적 가격 측면에서 불리하다.

극수변환을 통하여 단상유도전동기의 속도를 제어하는 방법은 인버터보다 간단한 극수변환장치를 통해 극수를 변화시켜 가변속 운전과 정토크 운전 범위를 보다 확대하는 것이 가능하며, 가격적인 측면에서도 유리하다.

일반적으로 단상유도전동기는 기동을 위해 주권선과 보조권선을 모두 갖춰야한다. 하지만, 주권선과 보조권선 기자력의 위상차로 인해 불평형 자계가 형성된다.

이러한 현상을 개선하기 위하여, 극수변환 단상유도전동기에서는 주권선, 보조권선, 보상권선을 고정자 슬롯에 배치하여 4극 구동시에는 주권선과 보조권선을 사용하며 2극 구동시에는 주권선과 보상권선을 사용하는 방식을 사용하기도 한다[5-7].

하지만 이러한 방식은 극수변환장치 구성이 복잡하며, 고정자의 슬롯의 면적을 사용하지 않는 권선이 차지하여 고정자의 슬롯을 효율적으로 활용하지 못한다.

본 논문에서는 2극/4극 극수변환 유도전동기의 보조권선과 보상권선을 개별적으로 슬롯 내에 배치하는 것이 아닌 보조권선을 4극 구동시에는 보조권선으로 사용하며, 2극 구동시에는 보상권선으로 활용하는 방식을 제안한다.

제안하는 방식은 고정자 슬롯을 보다 효과적으로 활용할 수 있으며, 설계결과는 유한요소 해석을 통하여 검증하였다.

2. 극수변환 단상유도전동기

극수변환 단상유도전동기는 고가의 인버터 대신 저렴한 극수변환장치를 이용하여 극수를 변환하는 방식을 통해 가변속 운전이 가능하며, 정토크 운전 범위의 확대를 통해 부하조건에 따라 시스템 효율을 증가시킬 수 있다.

그림 1은 부하변동에 따른 정속형 단상유도전동기와 극수변환 단상유도전동기의 운전 예시를 보여준다.

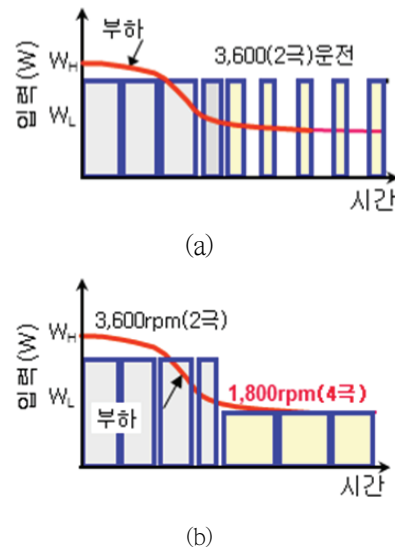


Fig. 1 Example of operation capacity according to load

그림 1 (a)와 같이 2극으로 정속운전을 했을 경우, 경부하 운전영역에서 온/오프를 통해 출력을 제어하는 예를 보여주고 있으며, 극수변환이 적용된 (b)에서는 극수변환을 통해 경부하 운전을 하는 예를 나타내고 있다.

(a)와 같이 출력을 제어할 경우, 경부하 영역에서 일정한 출력을 유지하기 어려운 단점이 있으며, 기동/정지 반복에 따른 불필요한 소비전력이 발생할 뿐만 아니라 진동 및 소음이 발생하게 된다.

이에 반해 (b)와 같이 극수변환을 통해 능력이변 운전을 하게 되면, 기동/정지를 통한 출력제어가 불필요해지며, 기동 시 발생하는 진동, 소음 및 소비전력이 저감된다.

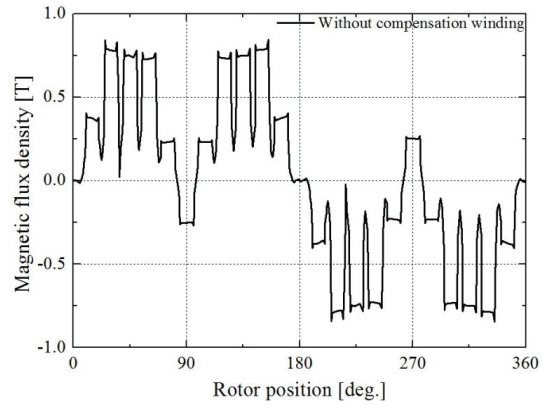
4극 단상유도전동기를 결선만 변경하여 2극으로 극수변환 하였을 때, 그림 2의 (a)와 같이 극의 중앙에서 공극자속분포가 함몰된 형태로 형성되어, 공극자속의 고조파로 인한 문제를 야기한다.

공극자속의 고조파 성분은 기동성능뿐만 아니라 극수변환시의 안정성에도 영향을 주는 요소이므로, 고조파 성분을 저감하기 위해 보상권선 등과 같은 설계기법을 통해 극의 중앙에서 함몰된 공극자속을 그림 2의 (b)와 같이 보상하여 고조파를 저감한다.

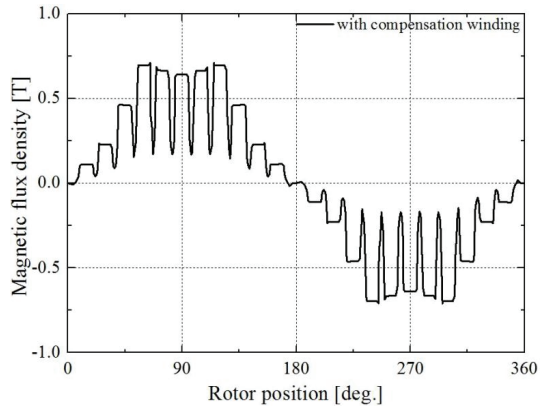
그림 3은 보상권선을 적용하였을 때의 극수변환 구동회로를 보여준다. SW1, SW2와 SW3, SW4는 구동 조건에 따라 상보적으로 동작한다.

그림 4와 그림 5는 보상권선을 적용한 극수변환 단상 유도전동기의 구동 조건별 고정자 권선에 흐르는 전류방향과 이를 통해 형성된 고정자 자극을 나타내었다.

그림 4는 보상권선을 적용한 모델이 4극으로 구동될 때를 보여준다. 보상권선은 존재하지만 사용되지 않는다.



(a)



(b)

Fig. 2 Waveform of magnetic flux density

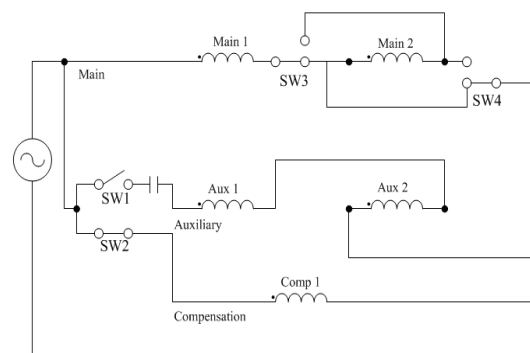


Fig. 3 Conventional circuit of pole change motor

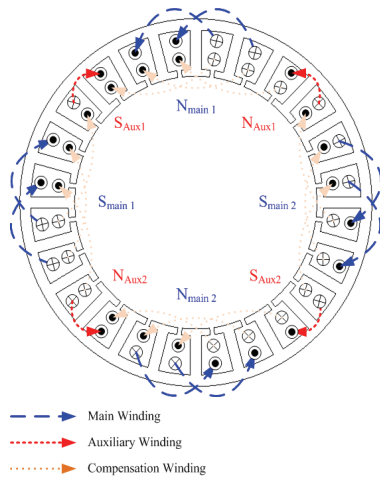


Fig. 4 Current direction at 4poles operation

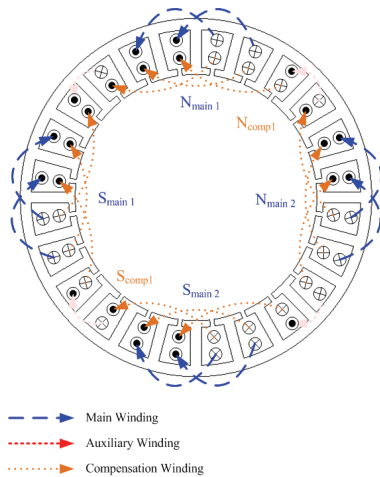


Fig. 5 Current direction at 2poles operation

그림 5는 보상권선을 적용한 모델의 2극으로 구동할 때를 보여준다. 4극에서 사용하던 보조권선을 2극에서는 사용하지 않는다. 보상권선을 적용한 구조는 공극자속의 고조파가 저감되어 2극 구동시 출력 및 효율 특성 등이 개선된다.

하지만, 권선구조 및 극수변환 장치의 구성이 복잡해지며, 구동 조건에 따라 사용되지 않는 권선으로 인해 충분한 권선단면적을 확보하지 못해

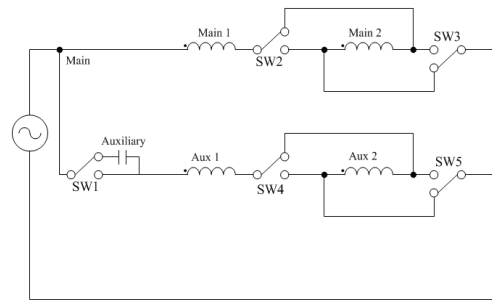
전동기의 출력 및 효율 확보가 어렵다.

본 논문에서 제안하는 방법은 기존 보상권선을 적용한 권선구조의 단점을 보완하기 위해 4극 운전시에는 보조권선으로 활용하는 권선을 2극 구동시에 보상권선으로 활용하여 슬롯 면적을 효과적으로 사용할 수 있다.

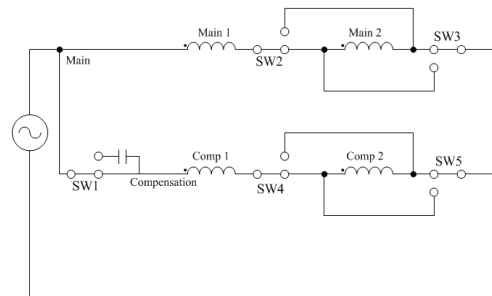
압축기의 운전시간 비중이 높지만 속도가 낮아 2극 고속모드에 비해 상대적으로 고효율 특성 확보가 어려운 4극 저속운전모드에서 효율을 극대화하고자 하였다.

또한, 일반적으로 효율보다는 출력에 중점을 두어 고효율 설계가 어려웠던 2극 고속모드에서도 출력을 확보하는 동시에 고효율 설계를 하고자 하였다.

그림 6은 4극 구동시 주권선과 보조권선으로 운전 하며, 2극으로 극수변환을 하였을 때 보조권선을 보상권선으로 사용하는 극수변환 단상유도전 동기의 구동회로를 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 6 Proposed circuit of pole change motor

(a)는 4극으로 운전할 때를 보여주며 (b)는 2극으로 운전할 때를 보여준다. 4극 운전모드와 2극 운전모드에서 앞서 언급한 기존방식과 유사하게 스위치가 구동 조건에 따라 상보적으로 동작하지만, 동일한 권선이 4극 구동과 2극 구동시 각각

다른 역할을 수행함을 나타내었다.

또한, (b)는 2극에서 운전할 때이기 때문에 보조권선이 아닌 보상권선으로서 운전할 수 있게 SW1이 콘덴서가 없는 쪽으로 동작하여 주권선이 만들어내는 자속과 보조권선이 만들어내는 자속의 위상차가 생기지 않게 하여 보상권선으로 역할을 할 수 있게 한다.

그림 7은 제안하는 방식을 이용한 단상유도전동기의 전류방향과 형성된 고정자 자극을 나타내었다.

(a)는 4극으로 운전할 때의 자계구조를 보여주며, 보조권선으로 사용하기 때문에 주권선이 만들어내는 자속보다 보조권선으로 만들어내는 자속의 위상이 앞설 수 있게 권선이 배치되어 있다.

(b)는 2극으로 운전할 때의 자계구조를 보여주며, 보조권선이 아닌 보상권선으로 사용되기 때문에 주권선이 만들어내는 자속과 보상권선으로 만들어내는 자속의 위상이 동일할 수 있게 권선이 배치되어 있다.

이와 같이 도체를 배치할 경우, 보상권선을 별도로 갖추지 않고 주권선과 보조권선의 권선 배치 형태와 간단한 변환장치만을 이용하여 보상권선의 역할을 수행 할 수 있다.

또한, 보상권선을 별도로 구비한 모델보다 슬롯 면적을 효과적으로 사용할 수 있으며, 극수변환장치가 이전방식보다 더 간단함을 알 수 있다.

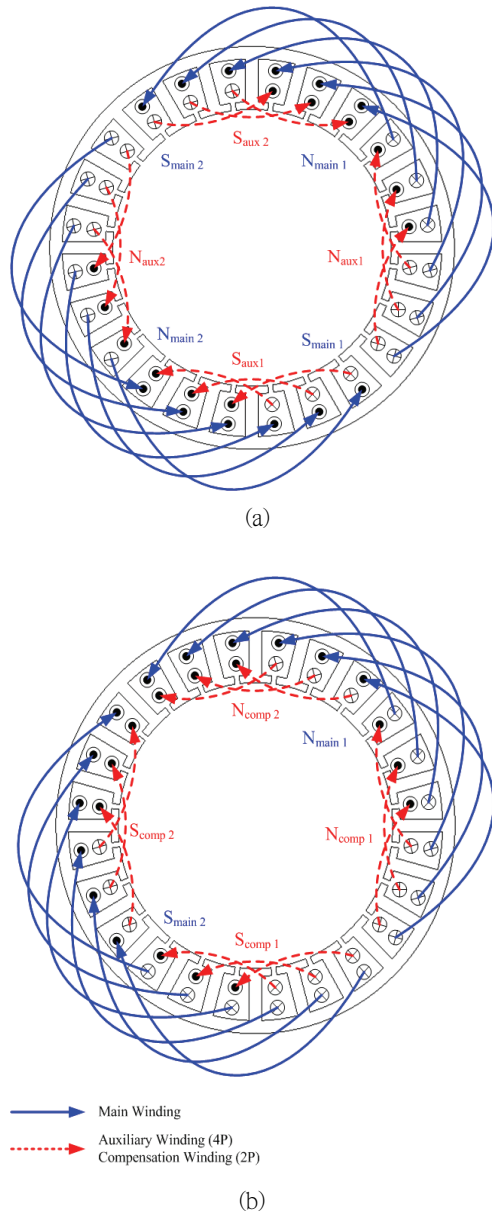


Fig. 7 Proposed winding arrangement

3. 유한요소해석

본 논문에서 제안하는 방법의 타당성을 검증하기 위하여 그림 7과 같이 주권선과 보조권선을 배치한 단상 유도전동기를 대상으로 그림 6에 나타난 구동회로를 적용하여 유한요소해석을 진행하였다.

Table 1. Specification of single phase induction motor

Parameter	Unit	Value
Output Power	W	1000/2000
Outer diameter	mm	139.2
Stack length	mm	105
Number of Stator slot	-	24
Number of rotor slot	-	34
Number of pole	-	4/2

본 논문에서 유한요소해석에 사용된 단상유도전 동기의 사양은 표 1과 같으며 형상은 그림 8에 나타내었다. 슬롯의 바깥쪽에 주권선을 배치하였으며, 슬롯의 안쪽에 보조권선(보상권선)을 배치하였다. 제안하는 방법을 적용하여 4극에서 보조권선을 이용한 저속모드를 mode 1, 2극에서 보상권선을 이용한 고속모드를 mode 2라 하겠다. 표 2는 두 운전모드의 정상상태에서의 해석결과를 보여준다.

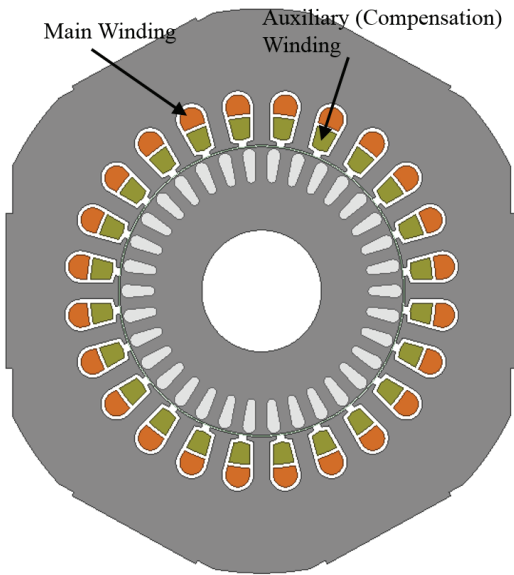


Fig. 8 Finite element analysis model

표 2는 정격 구동시 운전모드에 따른 효율 및 손실 등을 포함한 유한요소해석 결과를 나타내었다.

유한요소 해석결과, 저속모드에서는 효율 81.3 [%]을 확인하였고, 2극 고속모드에서는 효율 78.1 [%]을 확인하였다.

Table 2. Analysis result according to operating condition

Parameter	Unit	Mode 1	Mode 2
Input voltage	V_{rms}	230	230
Frequency	Hz	60	60
Speed	rpm	1743	3558
Torque	Nm	5.56	5.37
I_{main}	A_{rms}	6.5	11.2
I_{aux}/I_{comp}	A_{rms}	4.8	8.4
Stator copper loss	W	104.85	315.17
Rotor copper loss	W	48.5	81.5
Core loss	W	49.5	64.2
Total loss	W	233.44	561.05
Output power	W	1014.8	2000.8
Input power	W	1248.3	2561.9
Efficiency	%	81.3	78.1

4. 결론

본 논문에서는 2극/4극 극수변환을 통하여 단상유도전동기의 속도를 제어하는 방법을 다뤘다.

4극 단상유도전동기를 결선만 변경하여 2극으로 극수변환 하였을 때, 극의 중앙에서 공극자속분포가 함몰된 형태로 형성되어, 공극자속의 고조파로 인한 문제를 야기한다. 고조파 성분을 저감하기 위해 보상권선 등과 같은 설계기법을 통해 극의 중앙에서 함몰된 공극자속을 보상하여 고조파를 저감한다.

기존의 보상권선을 적용하는 방법은 주권선, 보조권선, 보상권선 모두 고정자 슬롯에 배치하여 4극으로 운전할 때는 보상권선을 사용하지 않고 보조권선만을 사용하며 2극으로 운전할 때는 보조권선을 사용하지 않고 보상권선만을 사용한다. 이러한 특징을 가지는 보상권선을 적용한 구조는 권선구조 및 극수변환 장치가 복잡하다. 또한, 운전 모드에 따라 사용하지 않는 권선으로 인해 사용된 재료비 대비 출력 및 효율 확보가 어렵고, 슬롯 이용률이 떨어진다.

본 논문에서는 기존의 보상권선을 적용한 권선구조의 단점을 보완하기 위해 4극 운전시에는 보조권선으로 활용하는 권선을 2극에서는 보상권선으로 활용하여 슬롯 면적 이용률을 높이면서 재료비를 저감하는 방법을 제안하였다.

제안하는 방법을 적용한 구동회로를 제시하고, 구동회로를 적용한 단상유도전동기의 극수변환 방법의 특성을 확인하였다.

또한, 제안하는 방법의 설계결과를 유한요소해석을 통하여 확인하였다.

사 사

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. NRF-2018R1D1A1B07046255)

참고문헌

- [1] J. G. Kim, A Study on the Optimum Selection of the Power Factor Compensation Condenser According to the Improved Efficiency of Induction Motor, The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 65 no. 7, pp. 1311-1315, (2016).
- [2] S. H. Ham, J. B. Im, J. Lee, A Study of Winding Design for Capacitor Run Single phase Induction Motor, The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 60, no. 40, pp. 776-780, (2011).
- [3] S. B. Yoon, J. P. Hong, Construction of Equivalent Circuit and Characteristic Analysis of Permanent-Split Condenser Induction Motor, The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 45, no. 9, pp. 1247-1254, (1996).
- [4] D. W. Yun, Y. S. Son, C. H. Park, S. Y. Ham, B. I. Kim, Development of the Pole Changing Induction Motor, Journal of the Korean Society for Prevision Engineering, vol. 28, no. 1. pp. 102-107, (2011).
- [5] H. Nam, T. U. Jung, Y. K. Kim, S. K. Jung, J. P. Hong. Analysis Method Using Equivalent Circuit Considering Hal-monic Components of the Pole Change Motor, The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 5-B, no. 2, pp. 162-167, (2005).
- [6] F. J. H. Kalluf, L. N. Tutelea, I. Boldea, A. Espindola, 2/4-POLE Split-Phase Capacitor Motor for Small Compressors: A Comprehensive Motor Characterization, vol. 50, no. 1 (2014).
- [7] H. Nam, J. P. Hong, S. K. Jeong, T. U. Jung, S. M. Baek, Characteristic Analysis of Capacitor-Run Single-Phase Pole Change Induction Motor Considering Harmonics, The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 907-909, (2001).

(접수: 2020.04.28. 수정: 2020.05.13. 게재확정: 2020.05.22.)