

컴프레서용 극수변환 단상유도전동기의 권선배치 최적화에 관한 연구

A Study on the Optimization of Winding Arrangement for the Pole Change Single-Phase Induction Motor for Compressor

김규현^{1*}, 정태욱²

Gyu-Heon Kim^{1*}, Tae-Uk Jung²

〈Abstract〉

Methods of speed control of single-phase induction motor include pole change and frequency control. Pole change method that is controlling the speed by converting the number of poles of the motor using only simple pole change device has lower capability of speed control than method of frequency control. However pole change method is more economical than method of frequency control because it has low manufacturing cost. In this paper we propose a method of improving the operating capability of 2-pole/4-pole using pole change method different from conventional method and the operating capability for each number of poles applied with the winding arrangement method is verified through finite element analysis.

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

1* 주저자, 경남대학교 전기공학과, 석사과정
E-mail: rbgis8279@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

최근 영구자석형 전동기가 많이 연구되고 있지만 여전히 산업 및 가전 분야에서 유도전동기가 많이 사용되고 있다. 단상유도전동기는 기동 및 구동을 위한 변환장치 없이 상용전원을 직입하여 기동 및 구동이 가능하다 [1, 2]. 단상유도전동기의 기동 및 구동하는 방법에 따라 콘덴서 기동형, 콘덴서 구동형 등으로 나뉘며, 그 중에 콘덴서 구동형은 기동특성 및 운전 효율이 우수하다. 단상유도전동기의 속도를 제어하는 방법에는 극수변환 및 주파수 변환 등이 있다 [3, 4].

주파수 변환 방법을 이용할 경우, 정밀한 속도 제어가 가능하지만 인버터를 이용하게 되면서 시스템 구성이 복잡해지며, 제조 단가가 상승되는 단점이 있다. 반면에, 극수변환 방법은 비교적 간단한 극수변환장치만을 이용하여 전동기의 극수를 변환시켜서 속도를 제어하는 방법으로 주파수 변환 방법에 비해 속도제어 능력은 상대적으로 낮지만 제조 단가가 낮아 경제적이다 [5].

본 논문에서는 주권선과 콘덴서를 포함한 보조 권선을 사용하는 단상유도전동기를 권선배치 방법을 기존에 연구되어온 방법과 다르게 하여 2극/4극에서 극수변환을 하여 각각의 운전능력을 개선하는 방법을 제안하며, 권선배치 방식에 따른 각 극수별 운전능력은 유한요소해석을 통하여 검증하였다.

2. 극수변환 단상유도전동기

상용전원을 직입할 경우에는 인버터를 사용하지 않기 때문에 V/F 제어가 불가능하여 사용자의 편의에 따라 속도를 가변속 할 수 없다. 하지만 극

수변환방법을 이용할 경우, 그림 1과 같이 극수를 변환시켜서 각 극수별 속도 특성에 따라 속도를 가변속 할 수 있다 [6].

그림 2의 (a)는 부하변동에 따른 2극 정속형 단

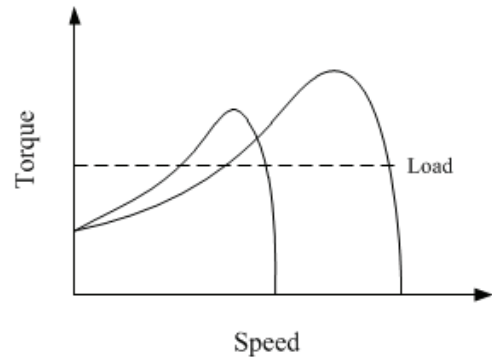


Fig. 1 S-T characteristics of pole change single phase induction motor

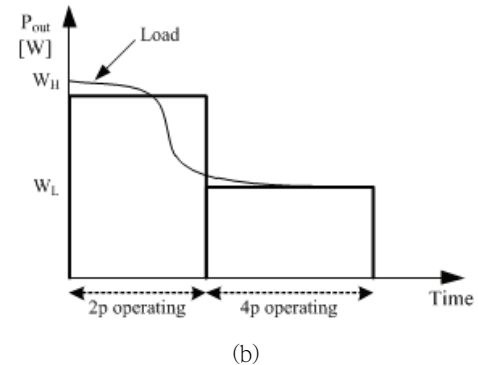
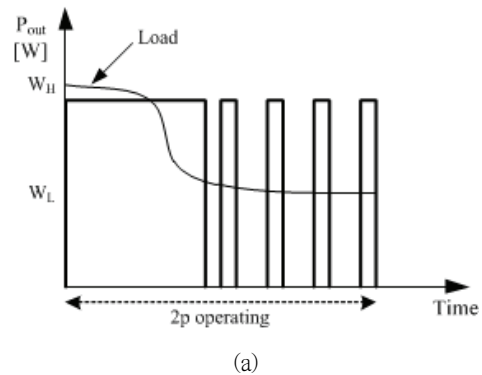


Fig. 2 Example of operation capacity according to load

상유도전동기의 동작예시이며, (b)는 2극/4극 극수 변환 단상유도전동기의 동작 예시를 보여준다. 2극 정속형 단상유도전동기와 같이 On/Off 제어를 통해 출력을 제어할 경우, 정격 구간에서는 연속적으로 동작을 하지만 경부하 구간에서는 On/Off 동작을 반복하여 출력을 제어하기 때문에 그에 따른 불필요한 소비전력이 발생하며, 기동시에 발생하는 진동 및 소음이 On/Off 동작 마다 발생하게 된다. 반면에 극수변환을 통하여 출력을 제어할

경우, 정격 구간에서는 2극으로 동작하며 경부하 구간에서는 4극으로 동작하여 연속적으로 동작을 유지하여 경부하 구간에서 On/Off 동작을 할 필요가 없어 정속형 단상유도전동기의 단점을 보완할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 권선배치 구조는 기존에 출력 확보에만 중점을 두어 고효율 설계가 어려운 2극 운전모드에서도 출력을 확보하는 동시에 효율을 개선할 수 있다.

그림 3은 제안하는 방법을 이용한 단상유도전동기의 권선배치와 형성되는 극을 나타낸다. 그림 3의 (a)는 일반적인 2극 권선배치 형태를 나타내며, (b)는 극수변환 장치를 이용하여 (a)의 Main 2와 Sub 2의 전류 방향을 전환시켜 Main과 Sub의 극을 4극으로 변환시킨 상태를 나타낸다.

그림 4는 제안하는 방법의 2극에서의 극수변환 회로를 보여준다. 스위치들이 모두 반대로 동작하여 권선의 전류 방향을 변환하면 4극으로 구동한다.

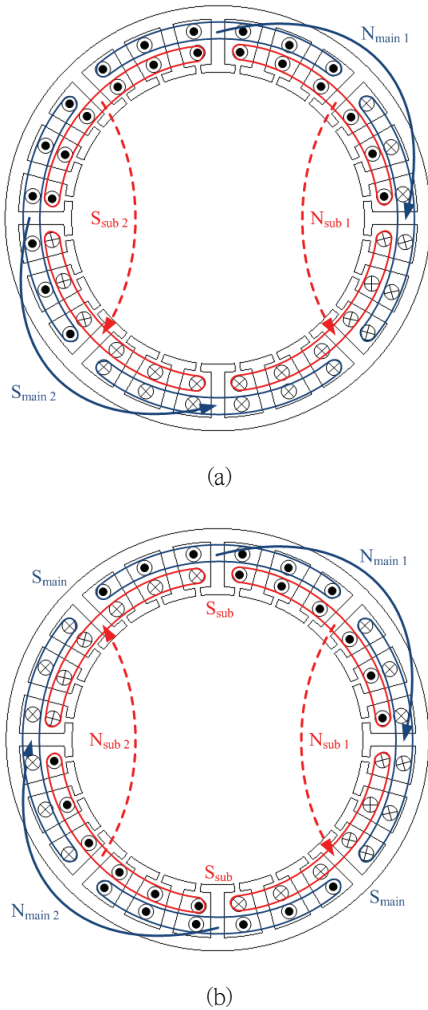


Fig. 3 Proposed winding arrangement

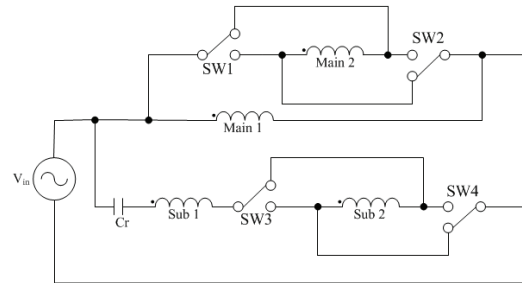


Fig. 4 Proposed circuit of pole change motor

본 논문에서는 모든 코일의 피치가 다르고 그 중앙축이 동일위치에 있는 권선배치 방식을 동심권이라 하며, 모든 코일의 피치가 같으나 그 중앙축이 다른 권선 배치방식을 분포권이라 한다.

3. 유한요소해석

본 논문에서 사용된 단상유도전동기의 사양은 표 1과 같다. 표 2는 각 모델별 주권선과 보조권선 턴 수를 보여준다. 각 모델에 사용된 권선의 직경은 동일하다.

Table 1. Specification of single phase induction motor

Parameter	Unit	Value
Output power	kW	1(4p)/2(2p)
Input Voltage	V _{rms}	230
Frequency	Hz	60
Outer diameter of Stator	mm	139.2
Outer diameter of Rotor	mm	71
Air-gap	mm	0.5
Stack length	mm	105
Number of ST slot	-	24
Number of RT slot	-	34
Number of pole	-	4/2

Table 2. Specification of winding

Parameter	동심권	분포권
Main turns	49/48/30/19/16	35
Sub turns	31/21/18/10	19

본 논문에서 제안하는 권선배치 방식의 타당성을 검증하기 위하여 그림 5와 같이 외측에 주권선을 배치하고, 내측에 보조권선을 배치한 단상유도전동기를 (a)와 같은 동심권 방식과 (b)와 같은 분포권 방식을 각각 유한요소해석을 통해 각 권선 방식이 전동기에 미치는 영향을 분석 하였다.

표 3은 4극 구동시의 출력 및 효율 등을 포함한 유한요소해석 결과를 보여준다.

유한요소해석 결과, 분포권 모델이 동심권 모델 대비 효율이 14.4% 더 높은 것을 확인하였다. 그림 6은 각 모델별 공극자속밀도를 보여준다.

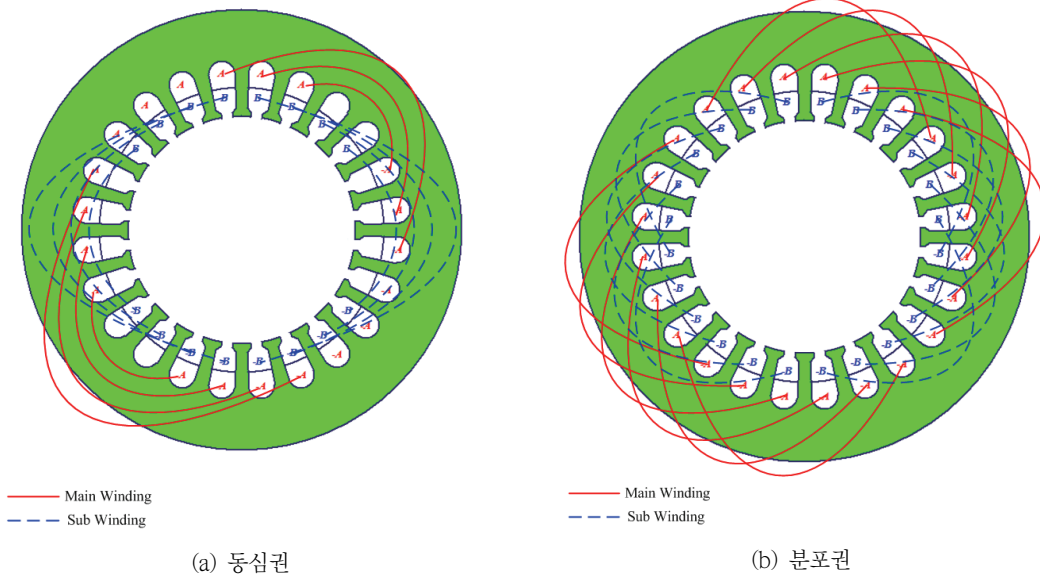
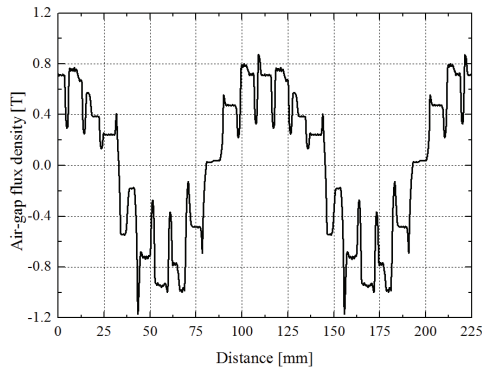


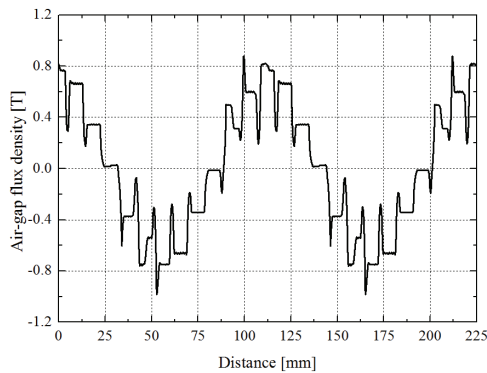
Fig. 5 Winding arrangement for each model

Table 3. Analysis result for each model at 2-pole operation

Parameter	Unit	동심권	분포권
Torque	Nm	5.5	5.5
Speed	rpm	1742	1733
I (main)	A _{rms}	10.2	6.1
I (Sub)	A _{rms}	4.2	4.7
Stator copper loss	W	414.3	188.1
Rotor copper loss	W	112.4	61.8
Core loss	W	13.8	12.1
Total loss	W	540.5	262.1
Output power	W	1004.2	999.9
Input power	W	1544.7	1261.9
Efficiency	%	65.1	79.2



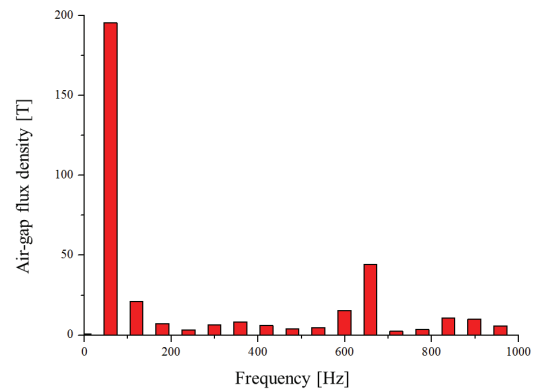
(a) 동심권 모델



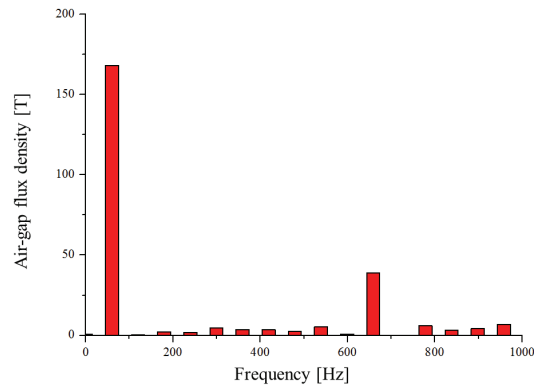
(b) 분포권 모델

Fig. 6 Waveform of magnetic flux density for each model

그림 7은 각 모델별 공극자속밀도 FFT 분석을 보여준다. FFT 분석 결과, 동심권 모델이 분포권 모델보다 여러 차수의 고조파가 더 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 4극에서는 분포권 방식이 고조파의 영향 때문에 공극자속밀도에 왜곡을 일으켜 분포권 방식에 비해 운전능력이 떨어지는 것을 알 수 있다.



(a) 동심권 모델



(b) 분포권 모델

Fig. 7 Result of FFT analysis for each model

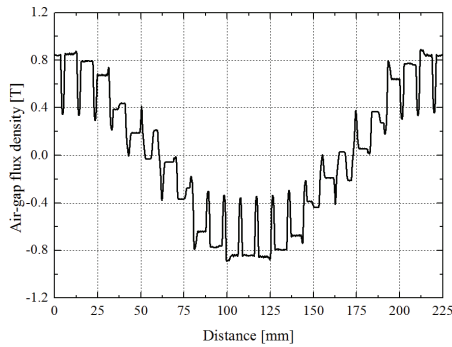
표 4는 2극 구동시의 출력 및 효율 등을 포함한 유한요소해석 결과를 보여준다.

유한요소해석 결과, 동심권 모델이 분포권 모델 대비 효율이 3.5% 더 높은 것을 확인하였다. 그

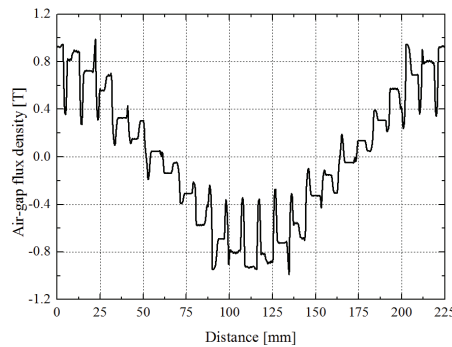
림 8은 각 모델별 공극자속밀도를 보여준다.

Table 4. Analysis result for each model at 4-pole operation

Parameter	Unit	동심권	분포권
Torque	Nm	5.5	5.5
Speed	rpm	3539	3536
I (main)	A _{rms}	13.7	15.3
I (Sub)	A _{rms}	2.8	3.2
Stator copper loss	W	187.5	251.4
Rotor copper loss	W	73.7	104.9
Core loss	W	25.5	27.8
Total loss	W	286.6	384.1
Output power	W	2039.4	2037.1
Input power	W	2326.1	2421.1
Efficiency	%	87.7	84.2



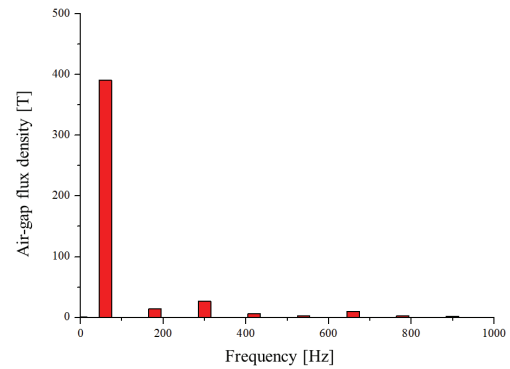
(a) 동심권 모델



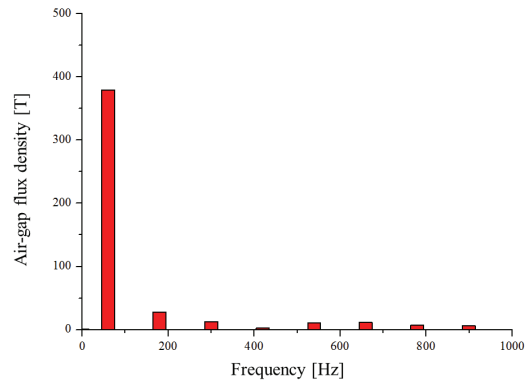
(b) 분포권 모델

Fig. 8 Waveform of magnetic flux density for each model

그림 9는 각 모델별 공극자속밀도의 FFT 분석을 보여준다. FFT 분석 결과, 분포권 모델이 동심권 모델보다 고조파의 크기가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 2극에서는 분포권 방식이 고조파의 영향 때문에 공극자속밀도에 왜곡을 일으켜 동심권 방식에 비해 운전능력이 떨어지는 것을 알 수 있다.



(a) 동심권 모델



(b) 분포권 모델

Fig. 9 Result of FFT analyzation for each model

2극 정속운전을 할 경우, 기존에 많이 적용되던 동심권 방식을 적용하는 것이 더 높은 운전 효율을 보여준다.

하지만, 극수변환 단상유도전동기와 같이 각각

의 운전영역에서의 높은 효율을 요구할 경우에는 동심권 방식보다 분포권 방식이 더 적합함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 상용전원을 직입하여 구동하는 단상유도전동기의 2극과 4극 극수변환 방법을 통하여 속도를 제어하는 방법을 제안하였다.

기존에 적용된 방법인 4극 단상유도전동기를 극수변환 장치를 이용하여 결선의 방향을 변경하여 극수변환 방법은 2극 구동시에 출력을 확보하기 위하여 운전 효율이 떨어진다.

본 논문에서는 2극 단상유도전동기를 극수변환 장치를 이용하여 전류의 방향을 변경하여 극을 강제로 형성하여 4극으로 극수변환 하는 방법을 제안하였다.

유한요소해석을 통해 제안하는 방법을 적용하여 동심권 방식과 분포권 방식이 전동기에 미치는 영향을 각각 비교 및 분석을 진행하였다.

유한요소해석 결과, 극수변환 단상유도전동기와 같이 2극과 4극 각각의 운전영역에서 높은 효율을 요구 할 경우, 동심권 방식보다 분포권 방식이 더 적합함을 검증하였다.

사 사

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(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] D. W. Kim, S. K. Hong, H. K. Jung. "Optimal design of a outer rotor type single phase motor for washing machines," The Korean Institute of Electrical Engineers, (1997).
- [3] 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).
- [4] Rohith, L. Umanand, S. R. B. "Pole Changing Wide Speed Range Induction Motor Drive for Electric Vehicles," 2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, (2018).
- [5] D. H. Kim, K. S. Kim, I. J. Yang, S. W. Song, S. H. Lee, W. H. Kim, I. S. Jang. "Study on Improvement of Accuracy of Induction Motor Analysis by Loss Separation Test," The Korean Society For Railway, vol. 22, no. 8, pp. 598-603 (2019).
- [6] K. C. Rajaraman. "Single-Phase Pole-Changing Motors Using Single-Layer Concentric Windings," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp. 1367-1372, (1971).

(접수: 2021.02.18. 수정: 2021.03.22. 게재확정: 2021.03.26.)