

자성웨지를 이용한 고효율 단상유도모터의 해석 및 설계

심호경*, 강제남*, 왕세명*, 김종봉**, 정태욱**
 광주과학기술원 기전공학과*, LG 전자**

Analysis and Design of High Efficiency Single-Phase Induction Motor using Magnetic Wedge

Hokyung Shim*, Jenam Kang*, Semyung Wang*, Jongbong Kim** and Taeuk Jung**
 K-JIST(Kwangju Institute of Science & Technology)*, LG Electronics**

Abstract - A lot of slot openings which are the rest of winding in stator slot can be applied by wedges made of magnetically anisotropic material in order to lead magnetic flux into rotor in rotating machines. In this paper, high efficiency single-phase induction motor was analyzed with a 2-dimensional finite element method by using magnetic wedges for improvement of efficiency.

(S18)의 비선형성을 고려하여 모델링하였다. 그림 4와 같이 포화자속밀도는 1.8415 [T]정도이다. 그림 5와 같이 구동을 위한 외부회로를 구성하여 회로해석을 수행하였으며 유한요소 모델의 코일에 각각 연결시켜주었다. 또한 2차원 해석에서의 취약점인 엔드턴(End-turn)과 단락환(End-ring)을 저항과 인덕턴스로 보정하여 모델링 하였다.

1. 서 론

유도모터는 회전자의 권선에 전류가 흘러 폐루프의 자속을 만들고 회전자 슬롯에 전압을 유기시켜 회전자가 회전하게 되는 교류 전동기이다[1]. 일반적으로 개방 슬롯을 가진 유도모터에서는 공극에서 큰 자속 리플이 생겨 철손분을 증가시키고, 등가 공극 길이가 증가하여 자속손실이 생기며 이로 인한 전자기적 진동이나 소음이 발생한다. 이러한 현상에 대한 대책으로서 고정자의 슬롯에 권선을 감고 남은 부분(슬롯 개방부)에 이방성 자성 물질을 삽입할 수 있다. 회전기의 고정자에 적용할 수 있는 이방성 자성 Wedge는 공극의 자속 분포를 균일하게 유도할 뿐만 아니라 누설 자속을 줄이면서 회전자에 흐르는 전류에 고조파 성분을 제거하는 역할을 한다. 더욱이 공극의 길이에 비례하는 자기 저항이 Wedge로 인해 줄어들게 되어 자기적인 손실도 줄일 수 있다[2]-[4]. 본 논문에서는 유한요소 해석기(FE/FLUX2D)를 이용하여 단상유도모터를 해석하였고, 등방성과 이방성 웨지를 채용할 경우에 나타나는 자속밀도 분포와 특성 변화를 분석하여 고효율 단상유도모터를 설계하였다.

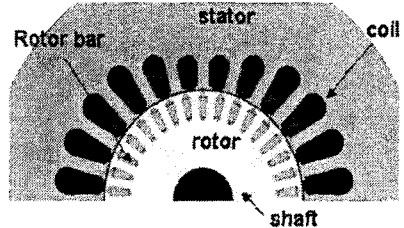


그림 1. 모터의 단면도

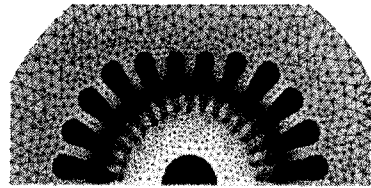


그림 2. 유한요소 모델

2. 모터 설계

2.1 유한 요소 해석

2.1.1 유한 요소 모델링

왕복동식 압축기용 단상유도 모터는 60[Hz]의 상용주파수에서 220[V]의 입력전압을 인가하여 정격속도로 동작하며, 34개의 회전자의 슬롯과 24개의 고정자의 슬롯으로 구성되어 있다. 그림 1은 전체 모터의 1/2만을 나타낸 것이며 실질적으로 모터의 유한요소해석에서도 Half-modeling을 하였고, 그림 2 에서처럼 단상유도모터를 6개의 절점(node)을 가지는 삼각형 요소(element) 13484개로 모델링 하였다.

그리고 그림 3의 경계조건에서 나타나듯이, 모터 고정자의 외곽에는 자속평행조건을 주었고 고정자와 회전자 사이의 공극에는 회전공극경계조건(Moving airgap boundary condition)을 주었으며 경계를 따라 각 절점에서의 벡터 포텐셜의 값은 크기는 같지만 부호는 반대인 값을 부여하는 비주기 조건(Anti-cyclic condition)으로 표현하였다. 또한 고정자와 회전자

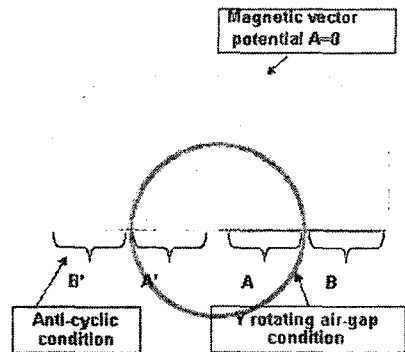


그림 3. 경계조건

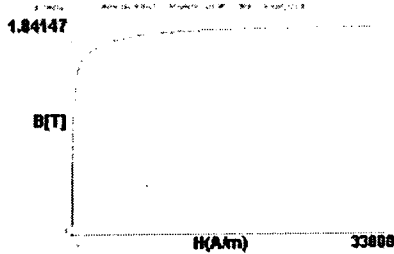


그림 4. S18의 B-H 곡선

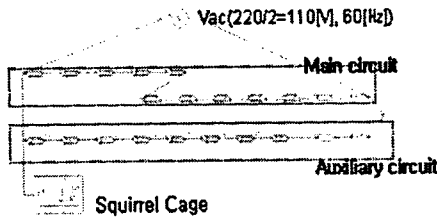


그림 5. 외부 회로

2.1.2 비선형 시변 유한 요소 해석

단상유도모터의 특성상 정상상태의 해석에 어려움이 있으므로 해석의 정확성을 위하여 비선형을 고려한 시변 유한요소해석을 수행하였다. 또한, 모든 회전속도에 대한 시변해석은 오랜 해석시간이 필요하므로 특정 운전속도에서 즉, 3가지 회전속도(2988, 3456, 3550rpm)에 대한 시변 해석으로 타당성을 검토하였다. 그림 6은 3550rpm에서의 시변 토크 해석 결과를 보여주며, 시변 상태에서는 불안정한 토크 변화를 보인 후 차차 수렴하여 정상 상태에서는 안정된 토크를 나타내고 있다.

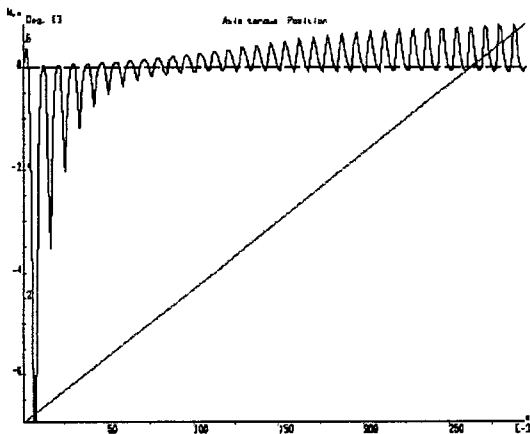


그림 6. 3550[rpm]에서 시변 토크 해석

표 1은 양복동식 컴프레서용 단상 유도모터의 비선형 시변 유한 요소 해석결과와 실험 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 실험 값과 해석 결과 값과의 오차는 대략 7.5% 이내에 드는 것을 볼 수 있다. 결국 FLUX2D로 모델링한 유한 요소 모델이 근사한 해석 결과를 내어주고 있음을 알 수 있다.

표 1. 시변 유한 요소 해석 및 실험값 비교

RPM	Torque [Nm]		Error %
	Experiment	FEA	
2988	1.858	1.9849	6.83
3456	1.023	1.0954	7.08
3550	0.423	0.45354	7.22

2.2 자성웨지를 이용한 모터설계

2.2.1 자성웨지 설계

국내에서 자성웨지를 전문적으로 취급하는 곳은 표 2과 같으며, 자성웨지의 규격은 두께[T]로 표기하며 [mm] 단위이다. 일반적으로 규격화되어 판매하는 사이즈는 최소 2[T]에서부터 시작한다.

표 2. 자성 웨지 취급 업체

	소재지	생산국	재료
A 사	대구	중국	네오디뮴
B 사	서울	독일	페라이트

회전자가 회전할 때 고정자의 개방 슬롯에 채용하는 자성웨지가 항상 고정되도록 아래의 그림 7과 같이 두 경우를 고려하여 모델링하였다. 등방성 웨지를 채용할 경우 방향성을 가지지 않지만, 이방성 웨지를 채용할 경우 그림 8과 같이 Y축(두께방향)으로만 비투자율을 가지게 된다. 표 3과 같이 5 종류의 자성웨지 중, No.1은 웨지가 없는 경우이며 No.2~3은 등방성웨지를 나타낸 것이며, No. 4~6은 이방성 웨지를 의미한다.

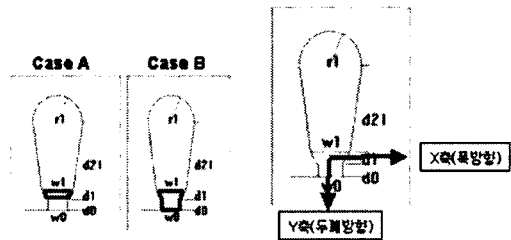


그림 7. 웨지 형상 그림 8. 비투자율 방향

표 3. 웨지 물성치

	X축 μr	Y축 μr
No. 1	1	1
No. 2	4	4
No. 3	5	5
No. 4	1	1.07
No. 5	1	2.5
No. 6	5	16

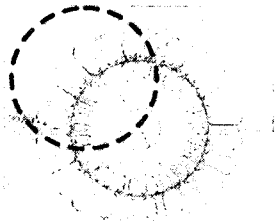
2.2.2 자성웨지를 이용한 유한 요소 해석

웨지의 두 형상에 대해 각각 해석해 본 결과, 표 4와 같이 웨지가 없을 경우의 효율을 100으로 두었을 때 전 반적으로 증가함을 알 수 있다. 효율은 비투자율이 크면 클수록 더욱 좋아짐을 볼 수 있으며, 이는 회전자 측으로 자속 유도에 효과적이고, 웨지가 첨가됨으로써 전류가 감소하여 동손이 줄어들었기 때문이다.

표 4. 유한 요소 해석 결과

	Efficiency	
	A 경우	B 경우
No. 1	100	100
No. 2	100.32	100.46
No. 3	100.71	101.09
No. 4	99.66	99.17
No. 5	101.33	101.7
No. 6	101.59	104

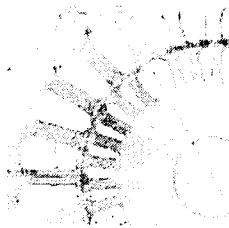
정격 속도 3550[rpm]에서 단상유도모터 단면에 흐르는 자속 분포는 그림 9와 같다. (가)는 고정자의 개방 슬롯에 Wedge가 없는 경우로 100개의 자속선의 분포가 공극을 따라 리플이 많아 불평형하게 형성되어 있음을 알 수 있다. 권선에 흐르는 전류에 의해 생긴 자속이 회전자로 유도될 때 개방 슬롯쪽으로는 제대로 흐르지 않고 있지만, 개방 슬롯 전영역에 모델링한 B 경우(나)~(마)처럼 등방성보다 이방성이, 큰 비투자율을 가질수록 자속 분포가 점차 균일해짐을 알 수 있다.



(가) No.1 일때



(나) No.3 일 때



(다) No.4 일 때



(라) No.5 일 때



(마) No.6 일 때

그림 9. 자속 분포

3. 결 론

본 연구에서는 왕복동식 압축기용 고효율 단상유도모터 를 비선형 시변 유한요소해석을 통하여 실험값에 근사화

시켰으며, 이를 바탕으로 효율을 높이기 위해 등방성과 이방성 웨지를 사용하여 해석을 수행하였다.

5가지의 물질을 사용하여 FLUX2D에서 해석해 본 결과, 등방성보다는 이방성의 웨지가 효율 향상에 더 효과 적임을 알 수 있었으며, 개방 슬롯에 자속이 리플이 줄 어 더 균일하게 분포하는 것을 확인할 수 있었다.

실제 크기에 맞춰 제작 공정을 행하였으나 상대적으로 두께에 비해 길이가 길어 불량률이 현저히 높아 본 연구 대상 모터의 고정자 슬롯 개방의 두께가 웨지를 제작하 기에 어려움이 있었다. 본 연구에서 이행된 결과를 토대 로 소재개발에 주력할 필요가 있으며, 세밀한 정밀 가공 이 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박민호, 유도기기, 동명사, 2000.
- [2] M. Watanabe, K. Ide, M. Takahashi and N. Takahashi. "Magnetically anisotropic slot wedges for rotating machines", IEEE Transactions on magnetics, vol. 26, no.2, march 1990.
- [3] S. Salon, D. Burow, M. DeBortoli, C. Slavik. "Effects of Slot Closure and Magnetic Saturation on Induction Machine Behavior", IEEE Transactions on Magnetics, Vol.30, No. 5, September 1994, pp. 3697-3700.
- [4] H. Mikami, K. Ide, K. Arai. "Dynamic Harmonic Field of a cage Type Induction Motor When Magnetic Slot Wedges Are Applied", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 4, December 1997, pp. 337-343.