

Skew를 고려한 유도기동형 영구자석 동기전동기의 특성 해석

오영진, 이인우,
(주)호성 중공업연구소

Characteristic Analysis of Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor considering Skew Effect

Oh Young Jin, Lee In Woo,
R&D center, Power & Industrial Performance Group, Hyosung Co.

Abstract - This study investigates the characteristic analysis of Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor considering skew effect. The effects of the skew on machine characteristic are analyzed by using direct co-simulation of Matlab Simulink and Flux2D. Validity of analysis method is confirmed by the analysis result of Non-skew Model.

1. 서 론

산업용 전동기 분야에는 가격이 저렴하고 상용전원구동이 가능할 뿐 아니라 인버터를 이용할 경우에도 단순한 V/f 제어로 운전이 가능한 3상 유도전동기가 많이 사용되어 왔다. 하지만 산업 기기 분야의 발달과 양적 팽창으로 환경 문제가 국내외적으로 대두됨에 따라 효율 측면의 규제가 강화되고 있다. 또한 고성능 영구자석의 보급이 활발해지고 가격이 저렴해지면서 상용전원 구동이 가능하고 범용 인버터로 V/f 제어 운전이 가능한 3상 유도기동형 영구자석 동기전동기(Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

3상 유도기동형 영구자석 동기전동기(Line-start PM Motor)는 기존의 3상 유도전동기에서 회전자에 영구자석을 채택하여 유도기의 특성과 동기기의 특성을 동시에 이용하므로 별도의 구동회로가 필요 없으며 영구자석의 특성을 이용하여 고효율이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 3상 유도기동형 영구자석 동기전동기의 고정자 권선에 토크리플 저감을 위한 skew를 적용할 경우 skew에 의한 효과를 고려한 특성해석이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 Matlab Simulink와 Flux2D의 Direct co-Simulation을 이용하여 skew를 고려하는 특성해석 방안을 제시하였다. 또한 Skew 유·무에 따른 특성해석 결과를 비교하였다.

2. 본 론

2.1 유도기동형 영구자석 동기전동기 구조

일반적으로 유도기동형 영구자석 동기전동기는 회전자에 영구자석을 매입한 구조를 사용하고 있으며, 유도기동토크를 얻기 위해 농형의 cage가 삽입되어 있다. 또한 영구자석의 측면 부분은 철심으로의 누설을 방지하기 위한 자속 장벽(link)이 존재한다. 고정자 권선은 일반적인 유도기와 동일한 권선을 사용한다. 그림 1은 유도기동형 영구자석 동기전동기의 구조를 나타낸 것이다.

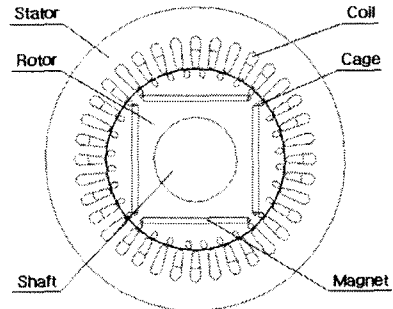


그림 1. 유도기동형 영구자석 동기전동기의 구조

2.2 특성해석을 위한 전처리 과정

2.2.1 Flux2D를 이용한 모델링

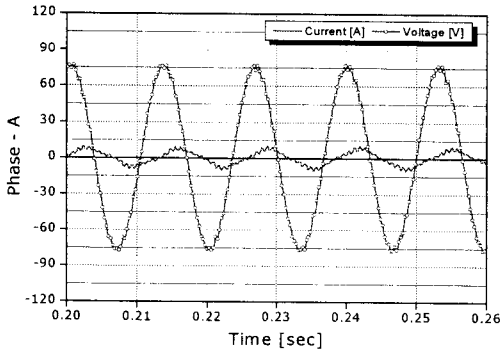
본 절에서는 skew를 고려한 3상 유도기동형 영구자석 동기전동기의 특성해석을 위한 전처리 과정을 기술한다. 기존의 특성해석에서는 형상 및 회로를 모델링 한 후 해석 파일을 만드는 "Physical" 과정에서 각 회로 component 값을 직접 정의하였다. 하지만 Matlab simulink와 연계해석 시에는 Flux2D의 "Physical" 과정에서 전원 값을 임의의 정수로 입력하여 전동기 부분의 모델링을 완료하고, Matlab simulink에서 전원 부분의 모델링 후 전처리 과정을 완료한다. 표 1은 해석모델의 사양을 나타낸다.

표 1. 해석모델 사양

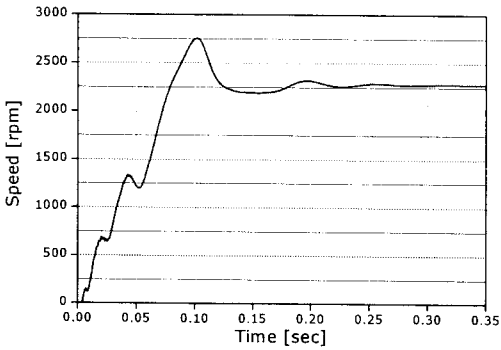
Item	Unit	value
Out power	W	1500
	HP	2
Pole/Phase number		4 / 3
Rated speed	rpm	2280
Skew angle		1 slot pitch
Magnet	Material	Nd-Fe-B
	Br	T

2.2.2 Matlab simulink를 이용한 전원 모델링

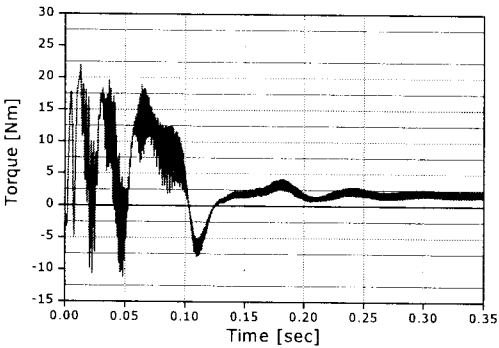
본 논문에서는 전동기 축에 수직방향이고 수평방향으로 잘려진 5개의 slice를 연결해서 skew의 영향을 고려하는데, 이를 위해 Non-skew 모델을 대상으로 동특성해석을 선행하고 그 결과를 이용하여 전원을 모델링한다. 그림 2는 Non-skew 모델의 동특성해석 해석 결과를 나타낸다.



(c) A상 전류 및 전압 특성



(d) 시간에 따른 속도 특성



(e) 시간에 따른 토크 특성

그림 2. Non-skew 모델의 동특성 해석결과

전원 모델링을 위해 Non-skew 모델의 해석 결과에서 전류파형에 대한 고주파 분석을 수행하였다. 그 결과를 이용하여 Matlab Simulink에서 정상상태 전류파형을 다시 모델링 한 후, 이를 입력전원으로 하여 Flux2D와 연계해석을 수행한다. 그림 3은 Non-skew 모델의 상전류 1 cycle과 그에 대한 고주파 분석 결과를 나타낸다. 고주파 분석은 50차 성분까지 분석하였고, 분석결과 43차 성분까지 존재하고 전부 21개의 고조파로 이루어져 있음을 알 수 있다.

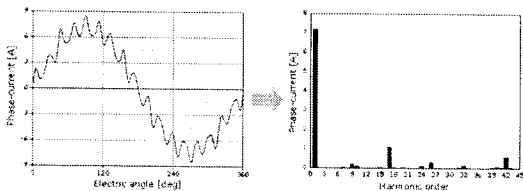


그림 3. Non-skew 모델의 상전류 및 고주파 분석 결과

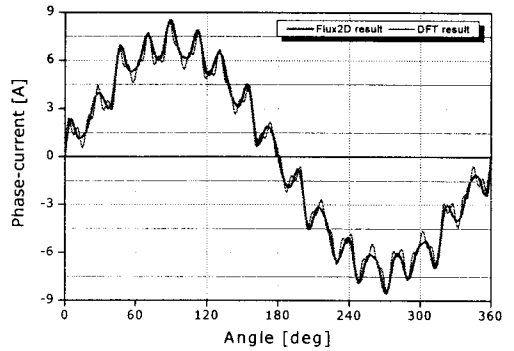


그림 4. Simulink 모델과 Non-skew 모델의 전류 비교

그림 4는 Non-skew 모델과 Matlab simulink에서 모델링된 전류를 비교한 것으로 고조파 분석에 의한 전류 모델링 결과와 해석결과가 거의 일치함을 알 수 있다.

2.3 Skew를 고려한 특성해석

2.3.1 Simulink와 Flux2D의 Direct co-Simulation

Skew를 고려한 특성해석을 위해서는 먼저 Non-skew 모델에서 동특성해석을 수행하여 정상상태의 전류위상과 회전자 위치의 관계를 파악한다. 그 결과에 따라 Non-skew 모델의 전류 위상을 기준으로 각 slice마다 입력되는 전류의 위상에 skew angle의 1/5 만큼씩 이동시킨 값을 적용하여 해석을 수행하고, 각 slice의 해석결과를 중첩하여 계산하면 skew effect가 반영된 토크를 계산할 수 있다. 그림 5는 skew를 고려한 특성해석에 적용되는 slice의 개념을 나타낸다.

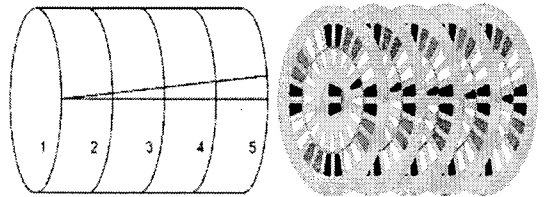


그림 5. Slice 개념도

그림 6과 그림 7은 Matlab simulink에서 제공되는 Flux2D coupling block을 이용한 전체 해석 모델의 모델링 결과와 해석 시 입력되는 3상 전류파형을 나타낸 것이다.

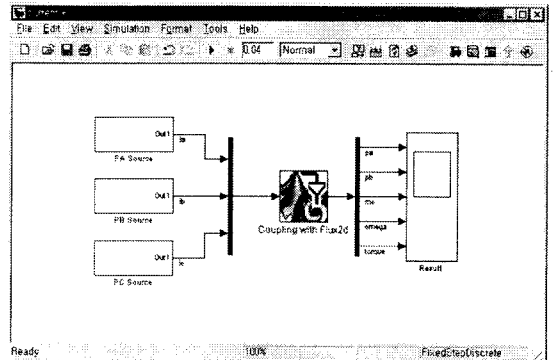


그림 6. Matlab simulink를 이용한 해석 모델

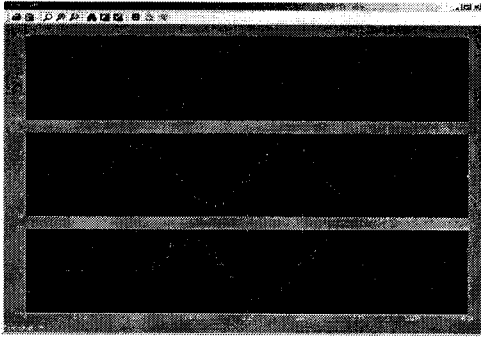


그림 7. Matlab simulink 모델의 입력 전원 파형

2.3.2 특성해석 결과

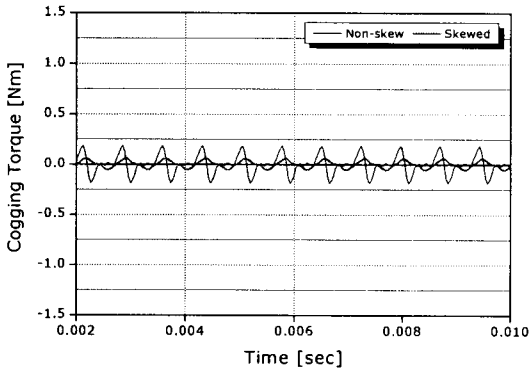


그림 8. Skew 유무에 따른 코깅 토크

표 2 Skew 유무에 따른 토크 리플 비교

Item	Unit	Non-skew model	Skew model
Max value	Nm	0.18691	0.06152
Min value	Nm	-0.18692	-0.05512
Ripple value	Nm	0.37383	0.11664
	%	100	31.2

그림 8과 표 2는 Skew 유무에 따른 코깅 토크 특성을 비교한 것이다. 결과를 보면 Non-skew 모델에 비해 Skew 모델의 코깅토크 리플이 68.8% 저감되었음을 알 수 있다.

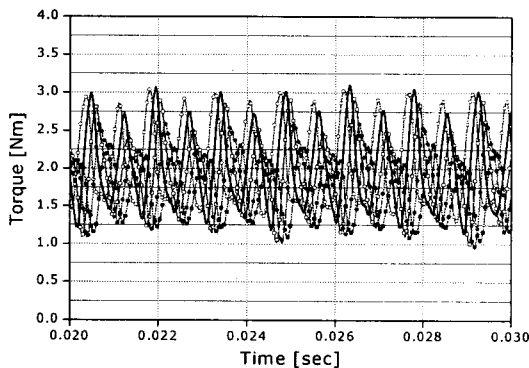


그림 9. 각 slice의 토크 특성

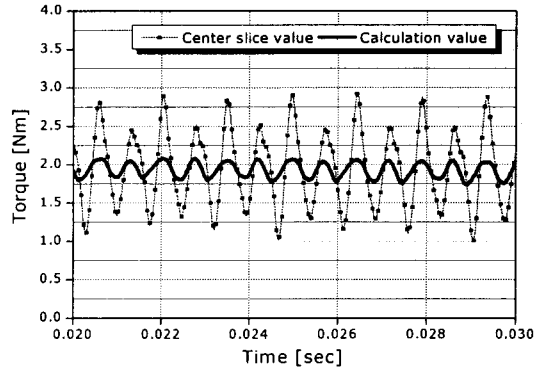


그림 10. Skew 유무에 따른 토크 특성 비교

표 3 Skew 유무에 따른 토크 리플 비교

Item	Unit	Non-skew model	Skew model
Max value	Nm	2.93354	2.08787
Min value	Nm	0.99161	1.73238
Ripple value	Nm	1.94193	0.355469
	%	100	18.3

그림 9는 5개의 slice에서 계산된 토크 값을 나타낸다. 토크 파형의 경우에도 각 slice에 인가된 전류 위상차와 동일한 위상차를 나타냄을 알 수 있다. 그림 10과 표 3은 skew 유무에 따른 토크특성을 비교한 것이다. 결과를 보면 Skew가 있는 경우가 없는 경우에 비해 토크 리플이 81.7% 저감되었다. 따라서 정상상태 발생토크의 경우 Skew에 의해 리플이 현저하게 감소함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 3상 유도기동형 영구자석 동기전동기를 대상으로 특성해석 시에 skew를 고려할 수 있는 해석 방안을 제시하였다. 그 결과 Non-skew 모델에 비해 skew 모델의 토크 리플이 81.70% 감소하였다. 본 연구를 통해 3상 유도기동형 영구자석 동기전동기의 제작 전 성능을 충분히 검토함으로써 실패비용을 감소시키고 전동기 성능향상에 기여할 수 있을 것으로 판단되며, 향후에는 실제 제작된 전동기의 특성시험 결과와 해석 결과의 비교를 통한 신뢰성 검증을 수행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, "Synchronization of Line-Start Permanent Magnet AC Motors", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS 103, No. 7, 1984
- [2] E. S. Hamdi, "Design of Small Electrical Machines", JOHN WILEY & SONS, 1994
- [3] Chee-Mun Ong, "Dynamic simulation of Electric Machinery", Prentice-Hall, 1998
- [4] 조동혁, 김도완, 한문규, 오시덕, "유도기동성 영구자석 전동기의 기동 특성 해석", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, p128-130, 2001
- [5] 강규홍, 남혁, 홍정표, "단상 영구자석형 유도동기기의 정상상태 특성해석", 대한전기학회논문지, p53-60, 2003