

Skew를 고려한 단상 유도전동기의 3D FEM 해석

이원용, 최명현, 송정현, 김병택
국립 부산대학교 공과대학 전자정보공학부

3D Finite Element Analysis of Single Phase Induction Motor Considering Skew

Won-yong Lee, Myoung-Hyun Choi, Jeong-Hyun Song, Byung-Taek Kim
Dept. of Electrical Eng, Kunsan National University

Abstract - 본 논문에서는 3차원 유한요소해석을 이용하여 단상유도전동기의 스큐유무에 따른 특성을 비교하였다. 기존 2차원 유한 요소 해석을 이용하는 경우 스큐를 갖는 유도전동기의 해석결과가 갖는 불합리점을 지적하였고 3차원해석과 2차원해석결과를 비교하였다. 그리고 스큐가 있는 경우와 없는 경우의 모델을 3차원 해석하였으며 이를 통해 인은 다양한 결과를 제시하고 스큐의 영향을 분석하였다.

구속 시 토크특성을 해석하였으며 그림 2에 나타내었다. 그림으로부터 회전자 위치에 따라 기동 토크가 달라짐을 알 수 있다. 최소 0.19Nm에서 최대 0.25[Nm]로 20[%]이상의 오차가 발생한다. 특히 해석에 사용된 모델은 실제 전동기보다 공극이 매우 큰 단순한 모델임을 감안하면 실제의 전동기는 이보다 훨씬 큰 오차가 발생하며, 해석정밀도가 매우 악화된다.

1. 서 론

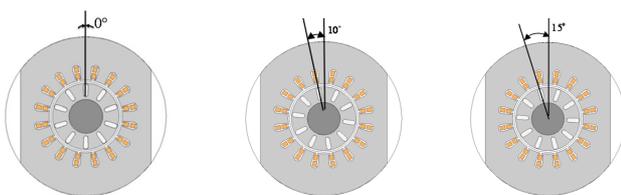
대부분의 유도전동기는 회전자 바에 스큐를 적용하며, 스큐슬롯을 적용하는 주된 이유는 전동기 코어가 갖는 공간적 자기저항의 변화를 완화시키는 데 있다. 이를 통해 다음과 같은 특징이 발생한다. 먼저 전동기가 회전할 때 자기저항의 순시 변화가 저감되므로 토크의 리플이 동시에 저감되며, 소음, 진동특성이 향상된다. 또한 고정자권선의 기저력에 포함된 고조파악영향을 저감시킨다.[1][2] 스큐가 없는 경우 고정자의 고조파성분은 회전자도체에 고조파 전류성분을 유도하며 이는 속도 대 토크특성에 있어 저속구간에서 토크 덩(dip)을 만들며, 기동이상 현상의 원인이 된다. 이 때 스큐슬롯은 회전자의 고조파 전류성분을 상쇄 또는 저감시켜 기동현상을 회피하기위한 좋은 방법이다. 반면 스큐를 적용하는 경우 스큐가 없는 경우보다 기본과 이용률이 감소하게 되며 이를 등가 회로 적으로는 누설인덕턴스의 증가분으로 취급하게 된다. 따라서 유도전동기의 특성상 최대토크가 감소하는 경향으로 나타나게 된다. 즉 유도전동기에 있어서 스큐의 영향은 정상운전 시보다는 기동과 정동특성에 좀 더 큰 의미가 있다고 볼 수 있다.

최근 유도전동기를 포함한 많은 전동기의 해석을 위해 2차원 유한요소법이 이용되고 있다. 특히 유도전동기의 경우 스큐의 유무와 상관없이 2차원 해석결과가 이용되고 있으나, 앞에서 설명한 바와 같이 기동특성을 예측하는 데에 한계가 존재하므로 정밀해석을 위해서는 3차원 유한요소해석이 필요하다. 현재까지 3차원해석의 경우 해석프로그램의 기능적 제한은 근본적으로 해결되었으나[3][4], 매우 큰 해석시간과 계산용량이 요구되는 단점이 있는 실정이다.

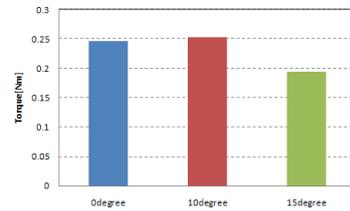
따라서 본 논문에서는 계산용량과 해석시간을 단축하기 위해 실제 단상유도기의 모델보다 비교적 단순화한 유도기 모델을 대상으로 3차원 해석을 수행하였다. 먼저 동일한 모델에 대한 2차원 해석을 수행함으로써 기동 해석 시 발생하는 문제점을 밝혔다. 그리고 스큐를 갖는 모델과 스큐를 가지지 않는 모델을 가정하여 3차원 기동특성을 해석함으로써 스큐의 영향분석 및 3차원 유한요소 기법의 필요성을 제시하였다.

2. 유도전동기의 2차원 해석시 문제점

3차원 해석을 고려하여 실제 전동기에 비교적 공극이 크며 구조가 간단한 유도기 형상을 가정하였으며, 이의 2차원 형상을 그림 1에 나타내었다. 그림1의 유도기의 구속특성을 2차원해석으로 계산하는 경우 회전자 초기위치가 문제가 되며, 본 논문에서는 15° 간격으로 그림에 제시한 바와 같이 3가지 경우에 대해 해석을 수행하였다.



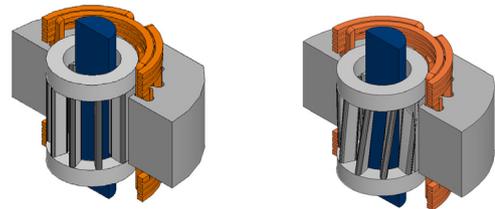
(A) 초기각 0° (B) 초기각 10° (C) 초기각 15°
〈그림 1〉회전자 초기각에 따른 해석 모델의 형상



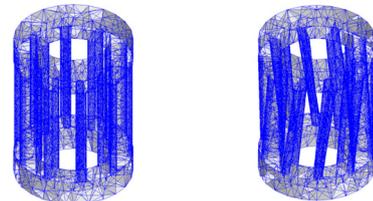
〈그림 2〉회전자의 초기위치에 따른 기동토크

3. 단상유도전동기의 스큐유무에 따른 3차원 해석

그림1의 유도전동기형상을 3차원해석하기 위해 모델링하였으며, 스큐의 유무에 따라 두 개의 모델을 그림 3에 나타내었다. 그리고 회전자 도체의 요소 분할도를 그림4에 나타내었고 구속특성을 해석하였다.



(A) 비 스큐 모델 (B) 스큐 모델
〈그림 3〉스큐 유무에 따른 모델 형상 비교

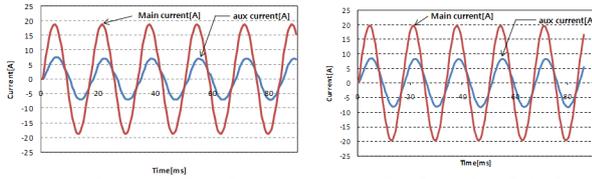


(A) 비 스큐 모델 (B) 스큐 모델
〈그림 4〉스큐 유무에 따른 회전자 도체 요소분할 형상

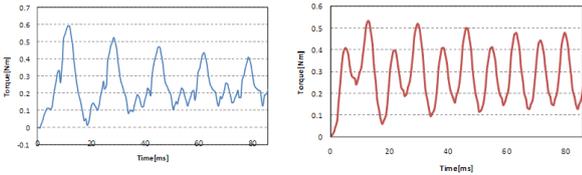
3.1 비 스큐모델의 2차원과 3차원해석비교

먼저 스큐가 없는 모델에 대해 2차원 해석과 3차원 해석 결과 중 전류와 토크 특성을 그림 5와 6에 비교하였다. 두 전류특성을 비교하면 2차원 해석의 경우 주권선과 보조권선의 전류 최대값은 각각 18[A]와 7.5[A]이며, 3차원의 경우 각각 19.5[A]와 8[A]로서 비교적 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 토크특성의 경우, 2차원해석의 평균 토크의 값은 0.25[Nm]이며 3차원의 경우 0.28[Nm]임을 알 수 있다. 반면 토크의 맥동특성은 차이가 있는데 이는 3차원의 요소개수가 상대적으로 적기 때

문에 발생한 것이라고 예측된다. 그러나 전반적으로 스쿠가 고려되지 않은 모델의 경우 2차원과 3차원 해석결과가 비교적 유사하다고 볼 수 있다.



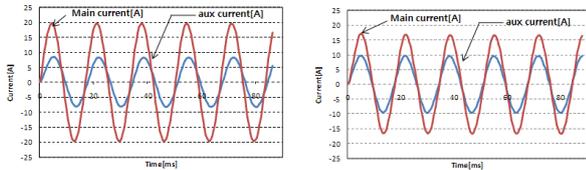
(A) 2차원 유한요소 해석 (B) 3차원 유한요소 해석
 <그림 5> 2차원, 3차원 유한요소 해석을 통한 기동 전류 비교



(A) 2차원 유한요소 해석 (B) 3차원 유한요소 해석
 <그림 6> 2차원, 3차원 유한요소 해석을 통한 기동 토크 비교

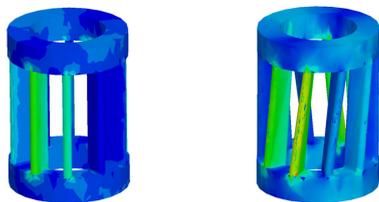
3.2 스쿠모델의 3차원 해석비교

스쿠가 있는 모델과 없는 모델의 3차원 해석결과 중 전류특성을 그림 7에 나타내었다. 스쿠가 없는 경우 주권선과 보조권선 전류의 최대값이 각각 19.5[A]와 8[A]인데 반해 스쿠가 있는 모델의 경우 각각 16[A]와 10[A]로서 두 결과의 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 서론에서 언급한 바와 같이 스쿠모델이 누설리액턴스가 증가하기 때문으로 생각된다. 즉 주권선의 총 리액턴스는 증가하며, 보조권선의 경우 콘텐서의 존재로 오히려 감소하는 경향을 보이게 되므로 주권선의 경우 전류가 감소하며 보조권선측은 증가하게 된다.



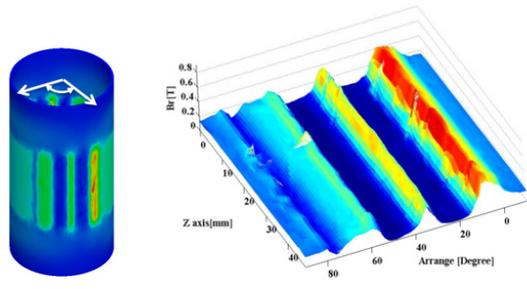
(A) 비 스쿠 모델 (B) 스쿠 모델
 <그림 7> 스쿠에 따른 단자전류의 파형

그림 8에 회전자에 유도된 전류밀도를 나타내었다. 그림으로부터 엔드 링과 도체봉의 결합부에서의 전류밀도를 계산할 수 있으므로 향후 국부적 온도상승에 의한 변형 등 기계적 안정성예측에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 스쿠모델과 비 스쿠모델을 비교하면 2차원과 달리 축 방향으로 전류밀도가 상이함을 알 수 있으며, 특히 스쿠가 없는 모델의 경우 특정도체 봉에 전류가 집중되나, 스쿠가 있는 모델의 경우 전류밀도분포가 다양한 도체에 분포하는 것을 알 수 있다.

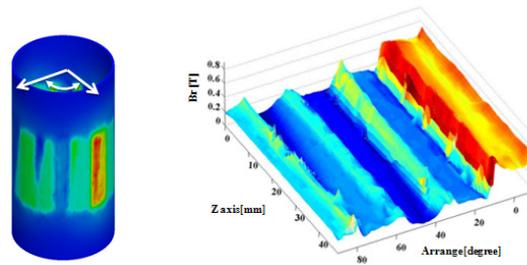


(A) 비 스쿠 모델 (B) 스쿠 모델
 <그림 8> 스쿠에 따른 회전자 바에서의 유도 전류 분포

두 모델에 대한 공극자속밀도의 분포를 그림 10에 나타내었으며 회전자 도체의 전류밀도해석결과와 같이 스쿠가 있는 모델에 대해 축 방향으로 다른 자속밀도 값을 취득할 수 있었다. 축방향의 자속밀도변화는 토크맥동의 저감으로 나타나기도 하지만, 축방향의 힘으로 나타날 수 있는데 이는 전동기의 축 방향 진동원이 될 수 있음을 의미한다.

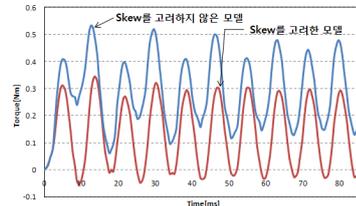


(A) 스쿠모델의 공극 자속밀도



(B) 비 스쿠 모델의 공극 자속밀도
 <그림 9> 스쿠에 따른 공극에서의 자속 밀도 분포

마지막으로 두 모델의 토크특성을 비교하였으며 그림 10에 나타내었다. 스쿠가 있는 모델의 평균 토크는 0.12[Nm]이고 스쿠가 없는 모델의 평균 토크는 0.28[Nm]으로 스쿠가 구속토크에 불리함을 알 수 있다. 반면 토크 맥동은 스쿠가 없는 경우 0.35[Nm]이나 스쿠가 있는 경우 토크의 맥동이 대략 0.3[Nm]로 15% 가량 감소 한 것을 볼 수 있다. 그러나 본 해석은 구속 시만을 해석한 결과이므로 좀 더 정확한 기동현상을 분석하기에는 한계가 있다.



<그림 10> 스쿠에 따른 토크 곡선 비교

5. 결론

본 논문에서는 회전자의 초기위치에 따라 발생하는 기동토크의 비교함으로써 스쿠가 고려된 단상유도기의 2차원 유한요소 해석이 불가피함을 보였다. 또한 스쿠를 가지는 모델과 스쿠를 가지지 않는 모델의 구속 시 3차원 유한요소 해석결과를 비교함으로써 스쿠가 전동기에 미치는 영향을 알 수 있었다. 향후 실 모델에 대해 운동을 포함한 3차원 유한요소 해석을 통해 기동 시 발생하는 다양한 특성을 고찰하고자 한다.

[참고 문헌]

[1] 김병택, 최병일, 박승찬, 오경일, “사구슬롯이 있는 3상 농형 유도 전동기의 인버터 구동 시 토크 특성 및 회전자 바 동손분포 해석”, 대한전기학회 논문지, v.49, no.12, pp 797-806, December 2000
 [2] F. Piriou, P. Thomas “A Time-stepped 2D-3D Finite Element Method for Induction Motor with Skewed Slots Modeling”, IEEE transaction on magnetics, Vol 35, no.3, pp 1262-1265, may 1999
 [3] H. Kometani, S. Sakabe, K. Nakanishi, “3-D Electro-magnetic Analyses of A Cage Induction Motor with Rotor Skew”, IEEE transaction on magnetics, vol 11, no 2, pp 331-337, June 1996
 [4] Tadashi Yamaguchi, Yoshihiro kawse, Shinya Sano “3-D Finite-Element Analysis of Skewed Squirrel-cage induction Motor”, IEEE transaction on magnetics, vol 40, no 2, pp969-972, March 2004