2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

평판형 전동기의 축방향 누설을 고려한 해석방법 고찰

조규원, 장우성, 이동엽, 장기봉, 김규탁
창원대학교

Analysis Method Study of Flat Type Motor with z-axis Leakage Flux

Gyu-Won Cho, Woo-Sung jang, Dong-Yeup Lee, Ki-Bong Jang, Gyu-Tak Kim
Changwon National University

Abstract - 본 논문은 FEM(Finite elements Method)을 활용하여 가로 축길이/외경지름 비가 약 2 정도로, 넓적한 평판형 전동기 해석을 할 때 고려해야 할 사항이다. 즉, 오차 발생 요인중의 하나인 축방향 누설을 고려한 해석 방법으로, 이를 위해 2차원해석과 3차원해석을 비교함은 기본이고, 일반적으로 사용하는 방법보다 효율적인 방법을 제안한다. 그 후 일반화의 가능 여부와 다른 방안들을 고려하여 본다.

1. 서 론

본 논문에서 대상으로 해석한 전동기는 평판형 IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)으로, 주로 차량 내부 유압 조절용 또는 ABS(Anti-lock Braking System)에 주로 사용된다. 즉, 최근 자동 변속 시스템(Auto Transmission System)에서, 자동차가 시동되어서부터 완전 정지 할 때까지, 끊임없이 유압을 사용하게 되는데, 이 때 요구되는 특성으로는 속도 변속에 사용될 시 꾸준한 효율 특성이 요구되어야 하며, Brake 에 적용 시 일정한 힘으로 구동 및 정지 하는 빠른 응답특성을 요구하게 된다. 이러한 요건이 충족 되지 않을 때, 차량 내부에서 문제가 발생할 수 있다. 이러한 요인들에 의해서 정확한 해석이 요구되는데 FEM으로 해석 할 때 고려 가능한 혹은 고려하지 못한 여러 오차들이 발생하게 된다. 그 중 해당 모터의 형상에 의한 축 방향 누설을 고려한 해석 을 수행하여 본다.

2. 본 론

2.1 기본특성 해석

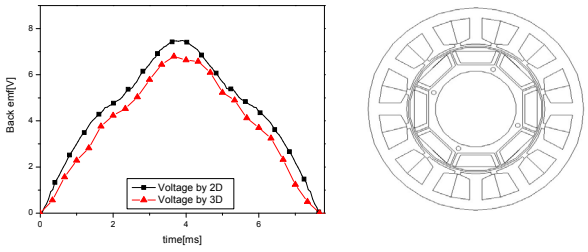
우선적으로 기기의 특성을 알아보기 위해 일반적인 무부하 해석을 수행한다. 해당 전동기의 사양은 <표 1>과 같다. 대표적으로 2차원, 3차원 역기전력 해석 결과를 살펴보면 <그림 1> (a)와 같이 나타난다. 이때 실험치는 두 단자 사이가 6.09 [V] 로 측정 되었다.

<표 1> IPMSM 의 사양

ITEMS	Specification
Rated speed[rpm]	2951
Rated Torque[Nm]	1.9
Poles/slots[poled]/[slots]	8/12
Air-gap length[mm]	1
Winding type	Concentrated winding
Br[T]	1.3
Z-axis length[mm]	45
Stator diameter	75

2차원 해석시 역기전력이 7.4[V], 3차원 해석 수행시 6.81[V] 로 실험치와의 각각의 오차는 약 20[%], 11[%] 로 계산되었다. 이때 해석시 모델링과 Parameter 입력은 도면과 동일하게 수행하였다. 또한, 2차원 해석시 end-turn부분과 회전에 의한 자기저항의 변화, 온도, 형상 및 재질에 의한 오차들을 고려했을 때, 큰 오차가 발생했다. 그러나, 3차원 해석에서는 보다 실험에 가까운 결과를 보임을 알 수 가 있다. 이는 3차원 해석시 2차원해석에서 고려하지 못한 부분이 계산에 포함 되었다고 가정을 할 수 있다. 대표적인 요인은 3차원 해석 기법상, 축 방향 역시도 요소가 나누어지므로 그 결과값이 계산 되어졌다고 할 수 있을 것이다.

이에 각각의 해석상 큰 차이로 예상되는 축 방향 누설 자속을 시뮬레이션으로 검증하여 본다.

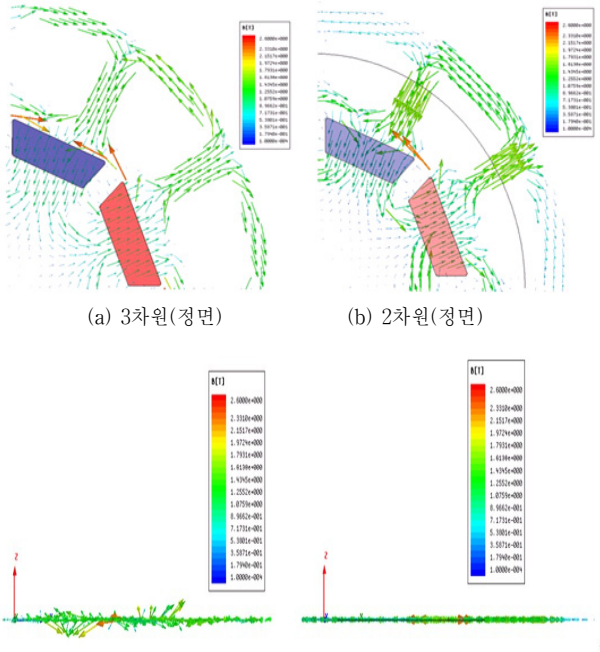


(a) 역기전력 파형 (b) 모델링

<그림 1> 역기전력 파형과 모델링

2.2 보정 방법

우선 3차원해석에서 축 방향으로의 자속이 고려되었는지 알아보기 위해 시뮬레이션을 통해 알아본다. 그 후, 기본특성 해석에서의 결과를 토대로 시간이 비교적 적게 걸리는 2차원해석에서 축 방향 누설자속을 고려한 해석 방법을 검토해 본다.



(a) 3차원(정면) (b) 2차원(정면)

(c) 3차원(측면) (d) 2차원(측면)

<그림 2> 자속 벡터도

<그림 2> (a) 와 (b) 는 3차원, 2차원 각각을 정면에서 바라본 벡터도 이며 (c) 와 (d) 는 축 방향으로의 영향을 알아보기 위해 측면에서 바라본 벡터도이다. 앞서 예상한 결과와 같이 3차원 해석은 z-axis 로의 벡터 성분이 존재하고 2차원해석에서는 고려되고 있지 않음을 알 수 있다. 이처럼 평판형 전동기에서는 축 방향 누설자속의 영향이 원통형 전동기 보다 크게 나타난다. 그러나 토크해석이나 많은 변수가 있는 상황

에서 3차원 해석을 수행하는 것은 해석시간이 오래 걸리므로 오히려 비효율 적일 수가 있다. 이를 위해 2차원해석에서 축 방향 누설자속을 고려 할 수 있는 방법을 알아본다.

2.2.1 역기전력 비

일반적으로 보정계수는 대상과 기준의 비로써 주로 많이 구할 수 있으나[3], 누설자속탐상은 강한 비선형성(non-linearity)을 가지고 있으므로 직접적인 측정과 정확한 계산의 수식해를 구하기가 어렵다[2][4].

우선적으로 많이 사용되는 방법이 2차원, 3차원해석 각각의 역기전력을 구하고 그 비를 취하여 주는 것이다. 그 과정은 일반적인 간단한 수식으로 나타난다. 이때, Φ, ℓ, y는 각각 자속, 길이, 거리를 나타내고 e는 유도 기전력이다.

$$\Phi = B\ell y \qquad \text{<수식 1>}$$

$$e = \frac{d\Phi}{dt}, \ (1\text{turn}) \qquad \text{<수식 2>}$$

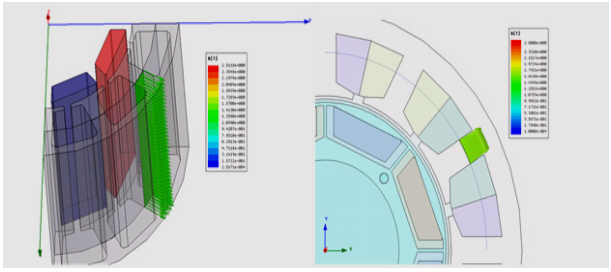
<수식 1>, <수식 2> 로 인해서 결국엔 역기전력 상수K_E와 각속도 ω_m 의 수식이 된다. 이를 2차원, 3차원 해석시 역기전력 상수를 각각 K_{E1} 과 K_{E2}라고 하고 각속도를 ω_{m1}, ω_{m2} 라고 하면, 역기전력 e_1, e_2는 <수식 3> 과 같다.

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= K_{E1}\omega_{m1} \\ e_2 &= K_{E2}\omega_{m2} \end{aligned}\right\} \qquad \text{<수식 3>}$$

이때 각각은 속도가 같으므로, 결국엔 역기전력상수의 비가 곧 역기전력의 비가 된다. 이에 앞선 해석 결과를 적용시켜 보면, 7.4[V] : 6.81[V] 로 약 1.086 이 된다. 즉 이를 보정계수라 하면 2차원해석에 비만큼 취하여 주면, 3차원 해석과 같게 된다. 또한 결과 보정이 아닌 해석 과정에서 보정을 하려면 축 길이에 비만큼 취해주면 된다. 즉, 본 모터는 축 방향 길이가 45[mm]이므로 보정하게 되면 약 41.41[mm] 가 된다. 그 후 해석을 수행하여도 포화나 다른 자기 변화에 영향을 주지 않는다.

2.2.1 자속밀도 비

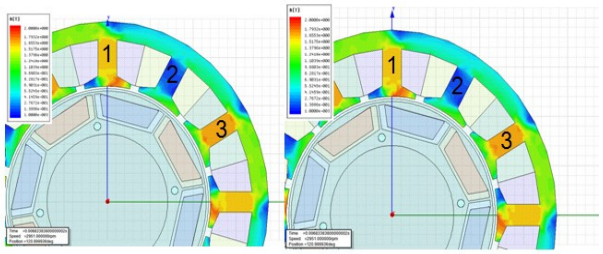
앞서 제시한 방법은 보정이 가능하나 3차원 역기전력 해석시, 많은 요소를 분할하게 되면 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 더욱이 동특성 해석이기 때문에 요소 역시 시간에 따라 다시 분할해 주어야 한다. 즉, 해석 시간이 더 증가하는 요소가 되고 혹은, 해석기기의 성능에 따라 더욱 많은 시간이 소요 될 가능성도 있다. 그러므로 비교적 시간이 적게 소요되는 해성 방법인 정자계 해석으로 보정계수를 구하는 방법을 알아본다. 이를 위해 한 치의 자속량을 비교하는 해석기법을 수행해 본다. 이 기법은 축 방향 성분을 가지는 성분을 제외한 것으로 2차원, 3차원 해석 각각 같은 방향의 치를 비교한다.



(a) 3차원 해석 (b) 2차원 해석

<그림 3> 한 치(Tooth)의 자속 벡터도

<그림 3> 에서와 같이, 각각 치의 평균 자속 밀도를 보면, 2차원 해석이 1.4819 [Wb/m²], 3차원 해석이 1.369 [Wb/m²] 로 계산 되었다. 그 차이는 1.112 [Wb/m²]로 그 만큼이 축 방향으로 누설된 자속밀도로 추정가능하다. 비는 약 1.082 로 앞선 역시전력의 비인 1.086 과 약 0.4[%] 차이로써 보정계수로써 사용되어도 거의 일치하는 결과를 낼 수 있다. 역시 후에 축 방향을 보정하여 FEM 해석을 수행하여도 그 결과 또한 보정 전 후의 포화 양상은 변화 없을 것으로 예상 된다. 그 검증으로 포화 정도나 자로의 변화에 대해서 해석하여 보면 분포도는 <그림 4> 와 같고 그 값은 <표 2> 와 같다.



(a) 보정 전 (b) 축 방향 길이 보정 후

<그림 4> 포화 양상 비교

<표 2> 자속 밀도 비교

2951[rpm], 19.5[A]	보정 전	보정 후
Br[T] of Tooth NO. 1	1.598	1.598
Br[T] of Tooth NO. 2	0.104	0.104
Br[T] of Tooth NO. 3	1.695	1.695

3. 결 론

본 논문에서는 형상적으로 넓적한 평판형 전동기의 오차 요인 중 하나인 축 방향 자속을 고려한 해석 기법을 고찰해 보았다. 원통형 전동기에 비해 평판형 전동기는 축 방향 누설 자속에 민감하므로, 해석시 고려되어야 할 부분 중 하나이다.

따라서, 해석 중 보정 계수 및 오차의 감소는 물론이고 시간까지 고려할 수 있는 방법을 선정 하는 것이 유리할 것이다.

본 결과에서는 정자계로 2차원 해석이 약 12604 개의 요소 일 때, 3분의 시간이 소요 되었으나 3차원 해석시 약 51324 개의 요소 일 경우 3시간의 시간이 소요되었다. 이는 해석 시간을 줄이기 위한 최적 요소나 모델링을 적용하지 않은 상태이다. 물론 시간 단축을 위한 요소들을 고려하면 더 빠른 시간으로 결과를 얻을 수 있으나 정자계 해석보다 더욱 많은 시간이 소요되는 동특성 해석은 오랜 시간이 걸리는 것은 불가피할 것이다. 그래서 두 번째 해석기법인 자속밀도의 비를 이용한 보정계수 선정이 유효할 것이다.

또한, FEM 해석시 오차를 얼마만큼, 또는 어떠한 요소를 고려 할 것인가가 중요한 만큼 각각의 형태에 대해 최적의 해석기법이 필요할 것이다.

그러나 이러한 계수는 전동기의 형상과 사양에 따라 달라지므로 일반화를 위해서는 향후 좀 더 다양한 전동기의 분석과 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

[1] 강규홍, 홍정표, 김규탁, “유한요소법을 이용한 매입형 영구자석 동기전동기의 인덕턴스 산정 및 속도-출력 특성”, IEEE Trans. pp408~416, 1999

[2] 신대철, 김영환, “축방향 누설자속 측정에 의한 유도전동기의 고정자 결함검출에 관한 연구”, 조명,전기설비 학회논문지 제19권 8호, 2005

[3] 구봉근, 신재인, 이상순, “응력보정계수 산정 방법 계산”, 한국구조물진단학회 제5권 제 1호, 2001

[4] G.S.Park P.W.Jang, Y.W.Rho, “Optimum Design of a Non-Destructive Testing System to Maximize Magnetic Flux Leakage”, Journal of Magnetics 6(1), 31~35, 2001