

영구자석 유도동기전동기의 특성해석 및 시제품에의 응용

한 문규
(주)효성 중공업 연구소

Characteristic Analysis of Synchronous induction motor with Permanant Magnets & Its application

Moon-Kyu Han
Industries R & D Institute, Hyosung Corporation

Abstract

For induction motors cannot maintain constant speed in various speed conditions, synchronous motors are generally used.

But synchronous motor oscillate in shocking load, and it cannot start by the lack of starting torque.

In this paper, we analyzed the synchronous induction motor which has both characteristics, and compared the experimental results with FEM analysis.

1. 서 론

일반적으로 유도전동기는 슬립으로 인하여 부하변동에 따른 속도변화가 있으므로, 부하변동에 관계없이 일정속도를 필요로 하는 시스템에서는 동기전동기가 이용된다. 하지만, 동기전동기는 시동토크가 없기 때문에 자기동이 되지 않고, 동기속도에 도달한다 하여도 갑작스런 부하의 변동에 따라 진동하는 난조(hunting)현상이 생길 수 있다. 유도동기전동기는 이러한 동기전동기의 문제점을 보완한 것으로 유도전동기와 동기전동기의 특성을 모두 가지기 때문에 부하변동에 관계없이 일정속도로 운전이 가능하며, 난조현상도 발생하지 않는다.

최근들어 영구자석의 보급확대로 인버터로 구동되는 영구자석 동기전동기가 산업용 가변속 시스템에 많이 이용되고 있으며, 일부 선진업체에서는 영구자석을 이용한 유도동기전동기도 출시되고 있다.

본 논문에서는 당사의 원사기계에 들어가는 영구자석 유도동기전동기의 시제품을 설계/제작하고, 유기기전력 및 코깅토크를 Flux2D를 이용하여 해석한 결과를 소개하였다. 특히, 고정자 slot에 skew를 주어 유기기전력 및 코깅토크를 해석하고, 시험결과와 비교하여 시뮬레이션 결과의 타당성을 입증하였다.

2. Flux2D를 이용한 특성해석

2.1 해석모델

당사에서 설계한 유도동기전동기의 사양을 표2.1에 나타내었다.

표2.1 시제품 유도동기전동기 사양

	고정자	회전자	비 고
외경(mm)	154	104.5	용량(W):90,극수(P):6,철심장(mm):60 skew(°):8.4/9.6, 철심두께(mm):0.5t 공극깊이(mm):0.25, 영구자석:ferrite Br(kG):4.2, Hc(kOe):3.0 비투자율:1.05, 자석두께(mm):10
내경(mm)	105	34	
slot수	36	42	

철심재료는 S-18을 사용하고, 코일은 동심단층권이며, 영구자석은 ferrite계 자석으로, 착자방향은 평행착자이다. 회전자 내부는 slot부에 구리봉을 매입하고, 그 아래부분에 자석을 매입하는 구조이며, 축재질은 stainless

steel이 사용되었다. 유도동기전동기의 해석모델의 형상을 그림 2.1에 나타내었다.

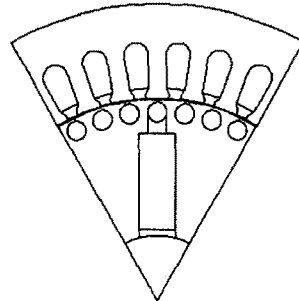


그림 2.1. 유도동기전동기 해석모델(1극)

해석모델은 6극으로 대칭구조이므로 해석요소수를 절감하기 위하여 1극을 해석하고, 반주기 경계조건을 취하여 요소수와 절점수를 2311개와 5397개로 하였다.

2.2 자속 및 자속밀도 분포

영구자석에 따른 유도동기전동기의 전자속 및 공극자속밀도 해석결과를 그림 2.2 및 2.3에 나타내었다.

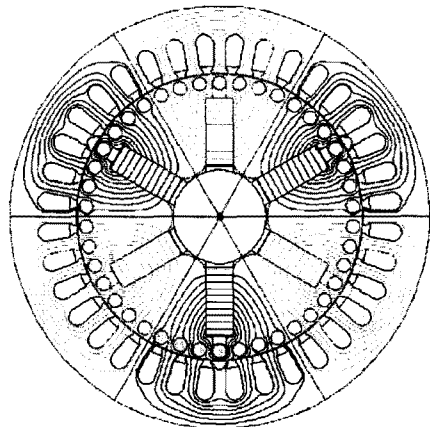


그림 2.2 전체 자속분포(6극)

그림 2.3을 살펴보면 자속밀도의 변화가 고정자 slot 수와 일치함을 알 수 있다.

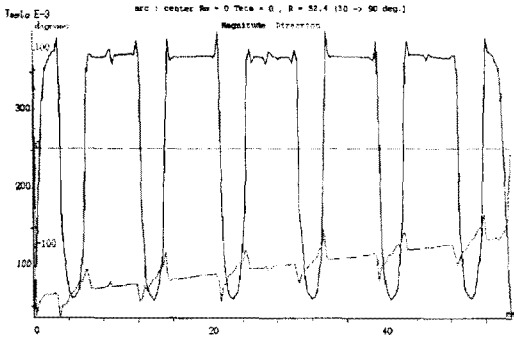


그림 2.3 공극자속밀도분포(1극)

2.3. 무부하 유기기전력 및 코깅토오크 해석

위 해석모델을 Flux2D를 이용하여 유기기전력 및 코깅토오크를 해석하고 그 결과를 아래에 수록하였다.

2.3.1 유기기전력의 해석

유기기전력 E 는 직렬권선의 권수가 N 일 때, 다음식으로 나타내어진다.

$$E = N \frac{d\phi}{dt} = N \frac{d\phi}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = N\omega \frac{d\phi}{d\theta}$$

여기서, $\omega = d\theta/dt$ 이다.

따라서, 유기기전력 E 는 권수와 회전속도를 알 경우 회전각도에 따른 자속의 변화를 알면 구할 수 있다.

회전자의 속도가 1000rpm 일 때, 1cycle 동안의 유기기전력 파형은 6극에서 1/3회전만 표시하면 되므로, 0.02 sec 마다 반복된다. 이를 100등분으로 나누어 회전각도를 1.2° 씩 회전하도록 해석하고, 회전각도에 따른 자속의 변화를 계산하여 그 결과를 그림 2.4에 나타내었다.

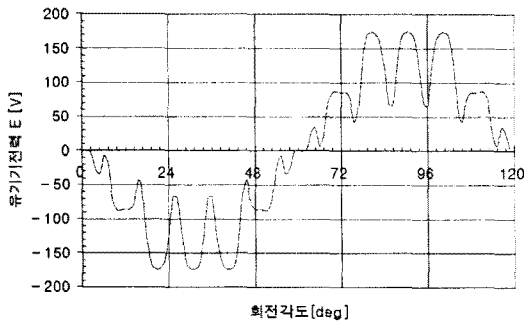


그림 2.4 유기기전력 파형
(3상 Y결선, 1cycle, 1000rpm)

그림 2.4는 고정자에 skew가 없을 때의 선간전압을 해석한 것으로 고정자 slot 수 만큼 리플이 발생함을 알 수 있다.

2.3.2 코깅토오크의 해석

코깅토오크는 계자자석과 전기자 구조사이의 상호작용으로 공극에 쌓인 자기에너지가 회전자의 이동과 함께 생긴다. 위 해석모델을 이용한 코깅토오크의 해석결과를 그림 2.5에 나타내었다.

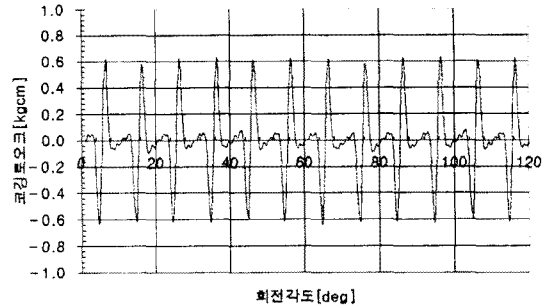


그림 2.5 코깅토오크 파형(1/3 회전)

그림 2.5는 회전속도가 5rpm 일 때, 1/3회전 동안의 코깅토오크 파형을 나타낸 것으로, 해석의 정밀도를 위하여 200등분으로 나누고 0.6° 씩 회전시켜 구한 값이다.

코깅토오크 리플은 일반적으로 1회전당 극수와 슬롯수의 최소공배수만큼 리플이 발생하므로, 위 해석모델은 1회전당 36개의 리플이 생기며, 그림 2.5에는 그중 1/3만을 해석하여 12개의 리플이 나타남을 알 수 있다.

2.4 skew의 영향

앞에서 해석한 결과를 살펴보면 유기기전력은 리플이 슬롯수만큼 발생하고, 코깅토오크 값도 크므로 모터로 사용하기에는 적합하지 못하다. 따라서, 유기기전력의 리플 및 코깅토오크를 감소하기 위하여 고정자에 skew를 주어 이에 따른 유기기전력 및 코깅토오크의 변화를 계산하였다. skew의 영향을 알기 위해서는 3차원으로 유한요소 해석을 수행하여야 하나, 여기서는 2차원으로 해석을 수행하고 skew 각도만큼 데이터를 변환하여 유기전압 및 코깅토오크를 계산하였다. 그 결과를 아래에 나타내었다.

2.4.1 유기기전력의 변화

그림 2.6은 skew 각도에 따른 유기기전력의 변화를 나타낸 것이다.

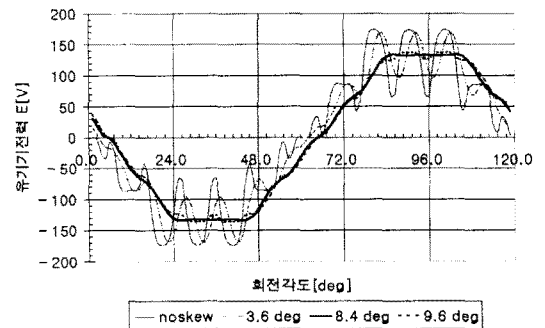


그림 2.6 skew 각도에 따른 유기기전력의 변화
(3상 Y결선, 1cycle, 1000rpm)

그림 2.6을 살펴보면 skew각도가 8.4° 일 때 리플이 없으며 사다리꼴 파형에 가장 근접함을 알 수 있다.

2.4.2 코깅토오크의 변화

그림 2.7은 skew 각도에 따른 코깅토오크의 변화를 나타낸 것이다.

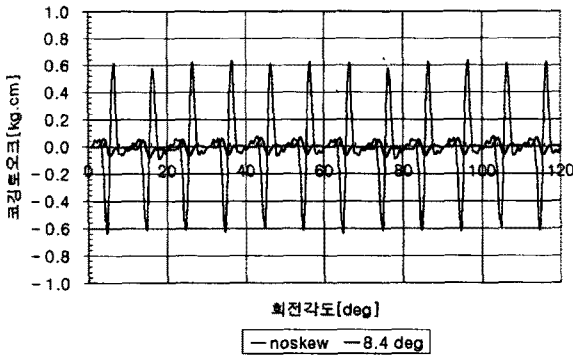


그림 2.7 skew 각도에 따른 코깅토크의 변화 (1/3회전)

skew각의 변화에 따른 코깅토크 값을 표2.2에 정리하였다.

표2.2 skew에 따른 코깅토크의 변화

항목	noskew	3.6 deg	8.4 deg	9.6 deg	10.2 deg
코깅토크 (gcm)	1,264	324	147	43	104

표2.2를 살펴보면 skew 각도가 증가할수록 코깅토크는 감소하며, skew가 9.6°에서 코깅토크는 최소로 되고 그 이상 skew를 주게되면 다시 증가함을 알 수 있다.

3. 시제품에의 응용

앞의 해석결과를 살펴보면 유기전압은 skew가 8.4°일 때 사다리꼴 파형에 가장 근접하며, 코깅토크는 9.6° 부근에서 최소로 됨을 알 수 있다.

이를 토대로 당사에서는 원사기계체에 들어가는 유도동기 전동기의 시제품을 유기기전력이 사다리꼴이 되는 skew 8.4°와 코깅토크가 최소로 되는 skew 9.6° 2대를 설계/제작하고 유기전압 및 코깅토크를 측정하였다. 그 결과를 아래에 소개한다.

3.1. 유기기전력 파형 및 코깅토크 측정

그림 3.1, 3.2는 skew각도가 각각 8.4° 및 9.6°일 때의 유기기전력 파형을 나타낸 것이다. 코깅토크는 당사가 보유하고 있는 코깅토크 시험기로 측정하였다.

표3.1에 해석치와 시험치의 주요사항을 비교하였다.

표3.1 해석치와 시험치 비교

		skew 8.4°	skew 9.6°	
유기 기전력	파형형태	사다리꼴	끝단부 중앙 오목	
	최대 전압	해석값	128 V	133 V
		측정값	118 V	123 V
	오차(%)	8.5	8.1	
코깅 토크	해석값	147 g.cm	43 g.cm	
	시험값	160 g.cm	47 g.cm	
	오차(%)	8.1	8.5	

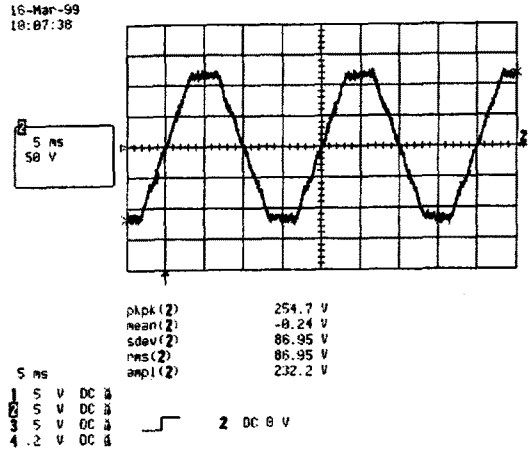


그림 3.1 skew 8.4° 일 때의 유기기전력 파형

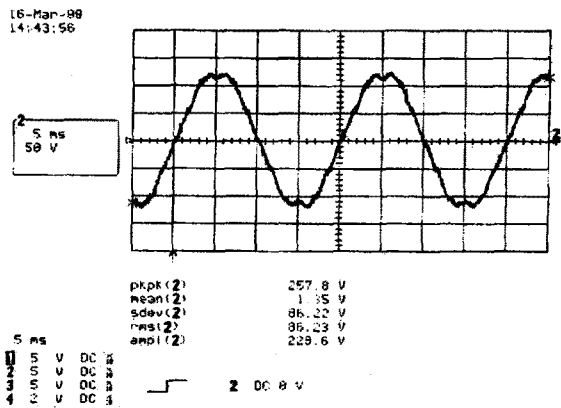


그림 3.2 skew 9.6° 일 때의 유기기전력 파형

3.2. 시험결과분석

표3.1을 살펴보면 유기기전력이 각각 8.5% 및 8.1%의 오차로, 자석의 착자정도를 고려할 때, 양호한 값임을 알 수 있고, 파형형태도 그림2.6의 해석결과 및 그림 3.1, 3.2의 시험결과와 비교 할 때 매우 유사함을 확인하였다. 코깅토크도 8.1% 및 8.5%로 조립정도를 감안 할 때 양호한 결과를 보여준다.

4. 결 론

본 논문에서는 2차원 자계해석 수행결과를 가지고, 데이터 변환기법을 이용하여 skew의 변화에 따른 제특성을 구하였다. 이를 근간으로 시제품 2기종을 설계/제작하여 시험한 결과, 해석값과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 향후 본 해석기법을 토대로 효율 및 역률이 높고 소형·경량화가 가능한 회토류 영구자석 유도동기 전동기의 개발에 적극 활용할 계획이다.

(참 고 문 헌)

- (1) 三井, 森田, "FEMによる埋込磁石形同期電動機の特性解析", 回転機研究会, RM-98-159, 1998.
- (2) J.R. Hendershot Jr, TJE Miller, "Design of Brushless Permanent Magnet Motors", 1994.