2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

엘리베이터용 영구자석 동기전동기의 특성해석

이 종웅* 김 창업* 김 병택** 이 주현*** 이 강진***
호서대학교* 군산대학교** (주)해성 산전***

Characteristics Analysis of a Permanent Magnet Synchronous Motor for the Elevator

Jong-Ung Lee* Chang-Eob Kim* Byung-Taek Kim** Kang-Jin Lee*** Ju-Hyun Lee***
Hoseo University* Kunsan National University** Haisung Industrial Systems***

Abstract - 본 논문은 엘리베이터용 표면 부착형 영구자석 동기전동기의 특성해석에 관해 연구한 결과이다. 영구자석으로는 높은 보자력과 잔류자속을 갖는 희토류 자석을 사용하였으며 전동기의 축 길이를 작게 설계한 영구자석 박형 엘리베이터용 전동기다. 본 전동기의 해석을 위해 유한요소해석 S/W인 Flux-2d를 사용하였으며 해석 결과와 실험 결과를 비교 분석하였다.

1. 서 론

도시화가 빠르게 진행되고 있는 현대 사회에서 주거 환경과 업무시설 등이 고층화됨에 따라 엘리베이터가 없는 생활은 상상할 수 없다. 엘리베이터는 사람과 화물을 운송하는 단순 운송수단 개념에서 벗어나 일상생활의 필수적인 수직 교통수단으로 자리 매김을 하게 되었다. 또한 다양한 계층의 고객이 요구하는 신속성, 쾌적성, 안전성, 경제성, 편리성, 디자인 등에 부응하기 위해 엘리베이터는 더욱 발전하고 있다[1]. 종래에는 제어의 편의상 직류전동기를 많이 사용하였으나 직류전동기의 유지 보수비에 대한 부담이 커지므로 1970년 이후에는 제어기술의 발달로 유도전동기를 사용하였다. 그러나 낮은 효율과 역률, 제어의 어려움으로 엘리베이터의 전동기로는 제약이 되어 왔다. 그 결과 고 에너지 밀도를 갖는 희토류 영구자석을 이용한 동기전동기가 개발 되었으며[2], 영구자석형 동기전동기를 엘리베이터용으로 사용함으로써 유도기와 직류기의 약점을 보완 하였다. 최근에는 건물의 공간을 절약하기 위해 기계실이 없는 엘리베이터를 위해 박형 영구자석 동기전동기가 적용되고 있다[3]. 본 논문에서는 엘리베이터용 박형 동기전동기의 특성을 유한 요소법을 사용하여 해석하고 이를 실험치와 비교 분석하였다.

2. 영구자석 동기전동기 해석

2.1 설계 사양 및 해석 모델

본 논문의 해석 대상인 원통형 표면 부착형 영구자석 동기전동기의 단면도를 그림 1에 도시 하였으며 기본 사양을 표 1에 나타내었다. 전동기의 출력을 높이기 위해서는 자속밀도가 높은 자석을 사용하거나 한 슬롯에 더 많은 코일을 감을 수 있는 슬롯 코어를 채택하였다. 코어 방식에는 기존의 일체형 코어에서 제조상의 편의와 점적률이 좋은 분할코어 그리고 여러 개의 슬롯에 한번에 코일을 감을 수 있는 블록 코어, 여러 개의 코어를 연결하여 코일을 감은 후 용접하는 연결형 코어, 코일을 감은 후 적층처럼 쌓을 수 있는 제등형 코어 등이 있다[4]. 본 전동기는 일체형 코어보다 소형이며 제조상 편리하고 높은 점적률을 갖는 분할코어 방식을 채택하였다. 분할코어란 슬롯을 하나씩 분리하여 코일을 감은 후 조립하는 형식으로 기존의 코일 감는 방식 보다 점적율을 높일 수 있다. 또한 높은 보자력과 잔류자속을 갖는 희토류 자석을 사용하고 코깅 토오크를 줄이기 위하여 자석의 호와 끝부분은 부드럽게 처리하였다.

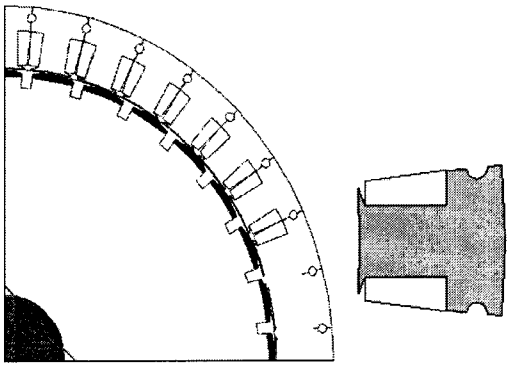

그림 1. 동기 전동기 해석 모델 및 분할코어 형상

표 1. 동기전동기의 기본 사양

용량 [kw]		11.1
극수		32
슬롯수		36
축방향 길이[mm]		65
선간 전압 [V]		279
고정자 철심	내경 [mm]	540
	외경 [mm]	654
회전자 철심	내경 [mm]	537
	외경 [mm]	525

1극 당 슬롯의 비율이 1.25의 분수 슬롯이며 토오크를 극대화하기 위하여 집중권을 사용하였다. 기존의 엘리베이터는 기계실이 필요하나 본 전동기는 축 방향 길이가 짧은 박형으로 설계하여 엘리베이터 레일에 직접 설치할 수 있어 기계실이 필요 없는 공간 절약형 엘리베이터용 전동기이다.

2.2 유한요소법을 이용한 특성해석

전동기 특성은 Flux-2d를 이용하여 해석하였다. 동기전동기의 부하각δ는 인가전압과 역기전력의 위상차이다. 부하각을 변화 시키면서 전동기에 흐르는 전류 및 토오크를 계산하였다.

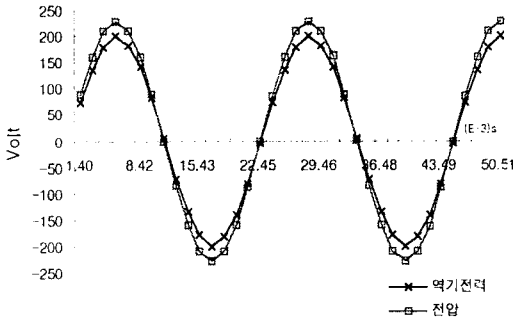

그림 2. 역기전력과 전압의 위상이 일치한 경우

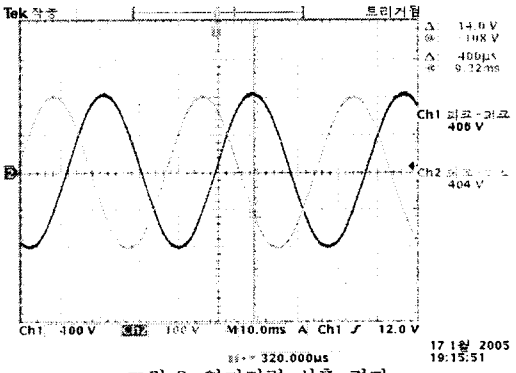

그림 3. 역기전력 실측 결과

그림 2는 Flux-2d에 의해 구한 역기전력 및 인가전압의 파형이다. 1상의 역기전력 및 인가전압의 최대치는 각각 199.4[V], 227.8[V]이다. 그림 3은 1상의 역기전력의 실험치로 해석치와 근사함을 알 수 있다.

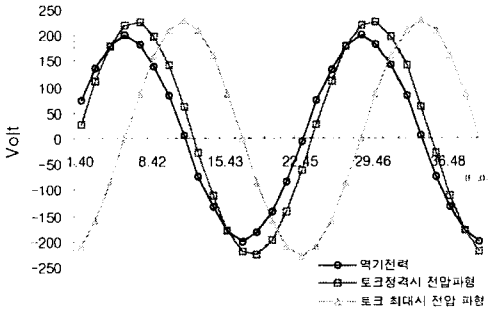

그림 4. 역기전력과 토오크 정격시 및 최대시 전압위상

그림 4는 토오크의 값이 정격일 때의 부하각과 최대 토오크시의 부하각 δ, 즉 역기전력과 전압과의 위상차를 파형으로 표현한 것으로써 정격시 전압위상은 15.6°이며 최대 토오크시 위상각은 90°임을 알 수 있다.

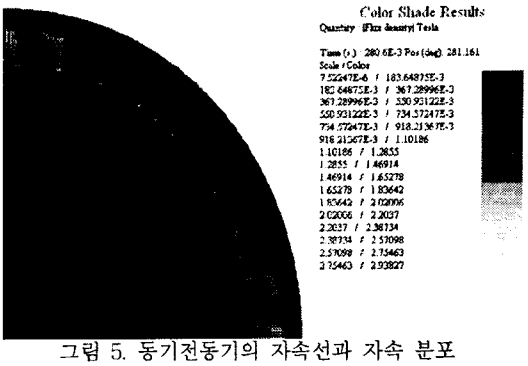

그림 5. 동기전동기의 자속선과 자속 분포

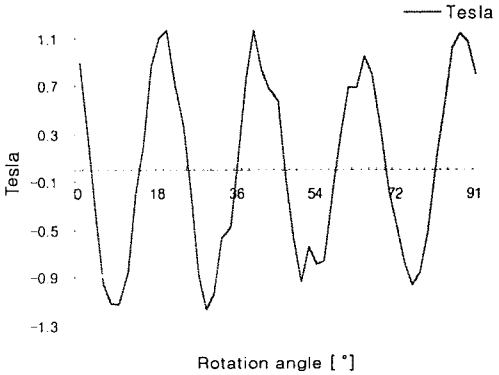

그림 6. 공극에서의 자속밀도

그림 5는 정격부하시 동기전동기의 자속선과 자속 분포도이다. 그림 6은 자속밀도 파형으로 설계시 잔류잔속밀도 Br이 1.3[T]인 희토류계의 영구자석을 사용하였다. 이때 공극에서의 최대 자속밀도는 그림 6에서와 같이 1.17[T]이다.

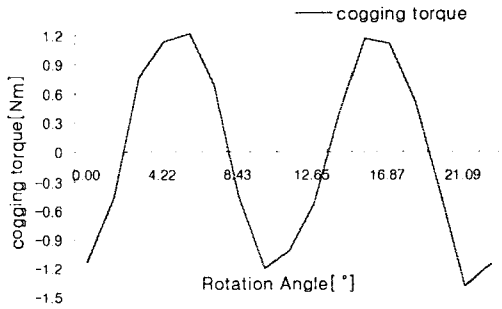

그림 7. 코깅 토오크

그림 7은 코깅 토오크 파형이다. 코깅 토오크는 영구자석과 전기자 철심사이에 자기 저항의 불균일에 따라 일어나는 현상으로 전동기의 소음 및 진동을 유발한다. 공극에서의 코깅 토오크를 정밀하게 해석하기 위하여 영구자석과 공극의 요소 분할을 3층으로 해석 하였다. 그 결과 코깅 토오크의 최고치는 1.21[N · m]이며 최소치는 1.44[N · m]이다.

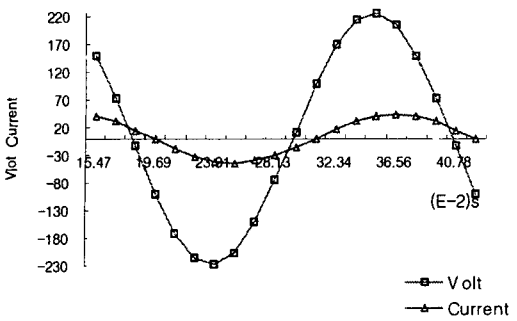

그림 8. 전압과 전류 파형

그림 8은 전동기의 역률을 구하기 위한 전압과 전류의 위상차를 나타낸 파형이다. 동기전동기는 역기전력과 전압과의 위상차로 부하각 δ를 구할 수 있으며 전압과 전류의 위상차로 역률각 ϕ를 구할 수 있다. 그림 7의 파형에서 $\phi=24.1°$이며 역률은 91.3[%]이다.

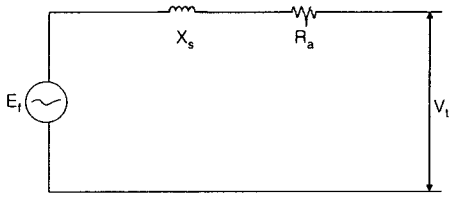

그림 9. 동기전동기 1상의 등가회로

그림 8은 한 상의 동기전동기의 등가회로를 나타낸 것이며 그림 9는 그림 2와 그림 7을 이용하여 페이서도로 표현하였다. 페이서도에서 동기리액턴스 Xs의 값을 구해낼 수 있었다(Xs=1.66[Ω]).

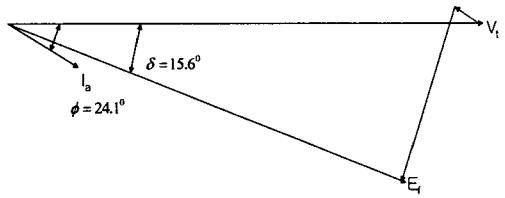

그림 10. 동기전동기 페이서도

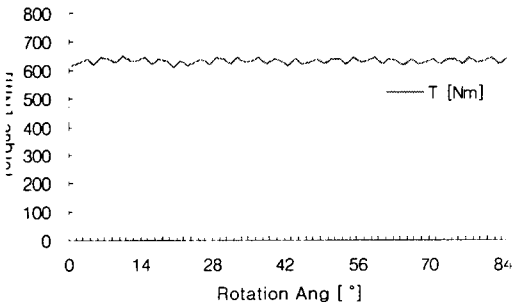

그림 11. 정격시 토오크 특성

그림 10은 정격시 토오크와 토오크 리플을 나타낸 파형이다. 정격시 토오크는 629[N·m]이며 토오크 리플은 ±14[N·m]로 전체 토오크의 2.2[%]이다. 표 2 는 설계치와 시뮬레이션을 통한 특성해석 결과 값을 비교한 것이다. 표 2에서 시뮬레이션 결과 토오크 리플은 설계치보다 크고 코깅 토오크는 거의 일치함을 알 수 있다.

표 2. 동기전동기 해석 및 설계치

	시뮬레이션 결과	설계치
출력 [kw]	11	11.1
선간전압[V]	278	279
상전류[A]	26.8	27
역기전력[V]	244.2	246
효율[%]	93.5	91.1
역률[%]	91.3	92.9
총 손실[W]	766	1085
코깅 토오크[N·m]	1.3	1.2
	0.2[%]	0.2[%]
토오크 리플[N·m]	14	2.5
	2.2[%]	1.4[%]
정격 토오크[N·m]	629	636

3. 결 론

본 논문은 엘리베이터 구동용 박형 동기 전동기의 특성해석에 관한 연구이다. 동기 전동기의 기전력, 토오크, 토오 크리플, 코깅 토오크를 Flux-2d를 이용하여 해석하고 설계치 및 실험치와 비교 하였다. 해석 결과 설계치 및 실험치와 근사한 결과를 얻을 수 있었다. 토오크 값은 토오크각 δ일 때 sinδ값에 해당하고 전류위상에 의해 역률을 구할 수 있었다.

본 논문은 2004년도 호서대학교 벤처산학 컨소시움 연구 지원과 (주)해성 산전의 지원으로 수행된 연구 결과로 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] 장진모, "엘리베이터의 최신 기술동동향", 전기의 세계, 10권, pp.36-43, 2004.
[2] 김진규, "엘리베이터 구동 시스템을 위한 영구자석형 동기전동기의 속도제어에관한 연구", 성균관대학교 석사학위 청구 논문, pp.1-4,2002.
[3] 김덕근외, "엘리베이터박형 권상기용 모터개발", 승강기공학회 추계학술대회, 2003.
[4] 김덕근, "최근 모터산업현황", 전력전자학회, 모터시뮬레이션 세미나 자료, pp.8-17, 2004.