

항복 강도를 고려한 센터 포스트 간격에 따른 80KW EV용 IPM 전동기 특성에 관한 연구

김병환*, 이상엽***, 서강**, 차창환*, 원종식*, 강병희*

(주) 효성 중공업 연구소 회전기 연구팀*, (주) 효성 중공업 연구소 EV Motor 연구팀**, 서울대학교 전기컴퓨터 공학부***

A Study on Motor Characteristic with varying Center Post Length considering Yield Strength of 80KW IPMSM for EV Traction Motor

ByungHwan Kim*, SangYub Lee***, Kang Seo**, ChangHwan Cha*, JongSik Won*, ByungHee Kang*
 Rotating Machinery Research Team, Power& Industrial Systems R&D Center, Hyosung Corporation*
 EV Motor Research Team, Power& Industrial Systems R&D Center, Hyosung Corporation**
 School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University***

Abstract - 전기 자동차용 전동기는 고효율, 소형화, 제어의 용이성 등으로 인해 영구자석형 전동기를 많이 채택하고 있는 추세이다. 이 중 IPM 전동기는 출력 특성 및 제어의 용이성으로 인해 많이 사용되고 있다. 특히 IPMSM을 EV용으로 적합하게 사용할 수 있도록 학계 및 산업계에서 전동기의 출력 개선, 열적 문제 해결, 구조 강도 문제 해결 등의 노력을 진행해왔다. 이 논문에서는 항복 강도를 고려하여 영구자석 센터 포스트 간격을 변화시키면서 전동기의 출력 특성을 살펴보았다.

1. 서 론

최근 석유 에너지 고갈에 대한 염려 및 친환경 정책으로 인해 선진국을 중심으로 엔진 구동 시스템에서 전동기 구동 시스템으로의 변화가 일어나고 있다. 그 결과 하이브리드 자동차, 연료전지 자동차, 전기자동차 등의 친환경 차량의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.[1] 이러한 친환경 차량에 이용되는 전동기는 높은 출력, 넓은 정출력 구간, 소형화, 제어의 용이성 등의 사양을 필요로 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 영구자석형 전동기를 차량용으로 개발하려는 노력이 활발히 진행되고 있다.[2] 영구자석 전동기는 회전자 자석 배열에 따라 SPM 및 IPM으로 구분할 수 있다. SPM의 경우 자기회로가 대칭이기 때문에 d축, q축 인덕턴스는 동일하며 자기저항에 의한 Reluctance 토크는 발생하지 않는다. 또한 자성이 회전자 표면에 존재하므로 유효공극이 커서 권선의 인덕턴스가 IPM에 비해 작아 정출력 구간에서 약계자 제어가 불리하다. 반면에 IPM의 경우에는 영구자석이 회전자 내부에 존재하여 자기적으로 q축과 d축이 대칭이 되지 않아 자석에 의한 토크와 더불어 Reluctance 토크가 존재한다. 그리고 유효공극이 SPM에 비해 작아 고정자 인덕턴스가 커서 전기자 반작용에 의한 약계자 운전이 유리하다. 또한 고정자 권선에 의해 발생하는 열을 영구자석이 직접적으로 전달받지 않으므로 온도변화에 의한 감자에도 유리하다.[3] IPM의 Reluctance 토크는 자기저항에 의해 변화되는데 이는 자석 위치 배열에 의해 영향을 받는다. 자석 위치 배열에 있어 센터 포스트 길이는 동작 특성에 영향을 주는 변수 중 하나이다. 이 논문에서는 IPM 전동기의 센터 포스트 간격에 따른 특성 변화와 길이 변화에 따른 항복 강도 등의 구조 강도 해석 결과를 살펴보았다.

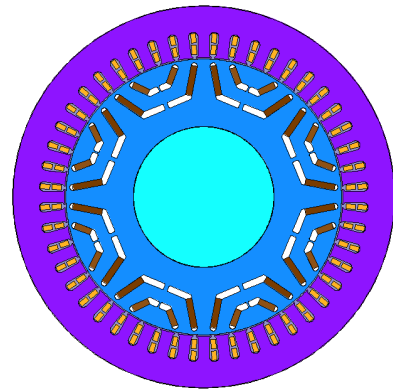
2. 본 론

2.1 80KW급 EV용 IPM 전동기 사양

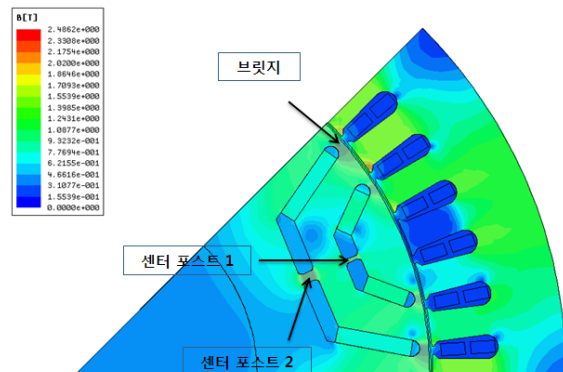
본 논문에서는 전기자동차에 적합하게 설계된 80KW 용량의 IPMSM을 이용하여 전자계 해석 및 구조 해석을 진행하였다. 설계된 IPMSM의 사양은 <표 1>과 같다. 정토크 구간에서 210Nm의 최대 토크를 발생시키고, 최대 속도는 11500RPM으로 동작한다.

< 표 1> 전동기 사양

정격출력	80[KW]
정격토크	210[Nm]
기저속도	4450[Rpm]
최대속도	11500[Rpm]
극수	8극



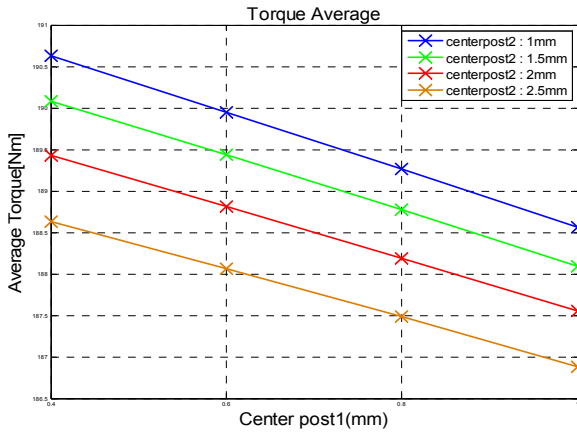
<그림 1> 전동기 모델



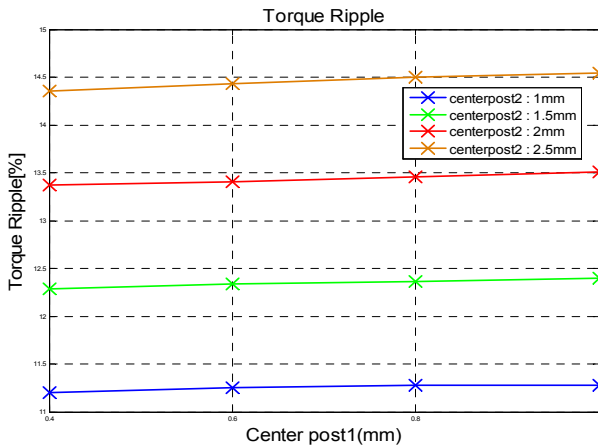
<그림 2> 전동기 자속밀도 분포

설계된 IPMSM의 8극 Full Model 단면도는 그림 1에 나타내었고, 4450RPM 구동 조건에서의 자속밀도 분포는 그림 2와 같다. 그림 2에서 본 모델의 센터 포스트와 브릿지 부분을 각각 표시하였다. 그림 2의 자속밀도 분포에서 알 수 있듯이 이러한 자석배치 구조의 IPMSM은 센터 포스트와 브릿지 부분에서 포화가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 기본적으로 전동기는 고정자 및 회전자에서 발생하는 자속이 공극을 지나 쇠교하는 자속이 만들어져야 토크를 발생시킬 수 있다. 만약 고정자 및 회전자에서 발생한 자속이 쇠교하지 못한다면 누설 성분으로 간주되어 전동기 입장에서 손실이 된다. 만약 센터 포스트 및 브릿지 부분에서 포화가 발생하지 않는다면 회전자 자석에 의해 발생하는 자속이 공극을 통과하여 고정자 쪽으로 전달되는 것이 아니라 회전자 내에 맴돌게 되어 전동기 출력에 전혀 기여를 하지 못한다. 그러므로 이러한 자석 배치 구조에서는 센터 포스트 및 브릿지의 길이를 최대한 짧게 하여 포화에 기여하는 자속을 최소화시키고 나머지 성분이 공극 쪽으로 향하게 하여 토크에 기여하도록 해야 한다. 하지만 센터 포스트의 길이는 코어 재질의 구조상 강도 때문에 짧아지는데 한계가 있다. 이러한 한계점은 구조 강도 해석을 통하여 최적 길이를 도출하도록 한다.

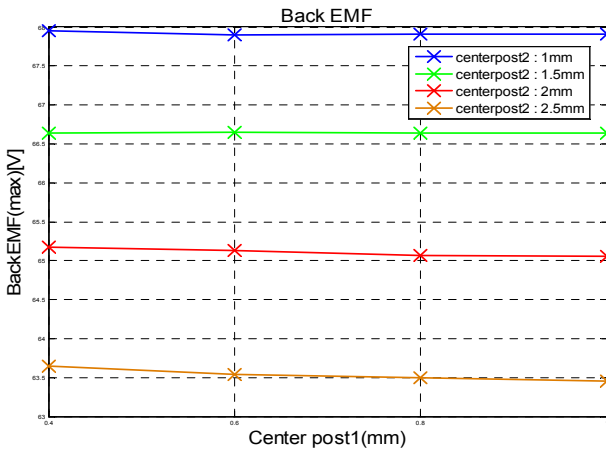
2.2 센터포스트 간격에 따른 전동기 전자계 해석 결과



〈그림 3〉 센터 포스트 간격에 따른 토크 변화



〈그림 4〉 센터 포스트 간격에 따른 토크 리플의 변화

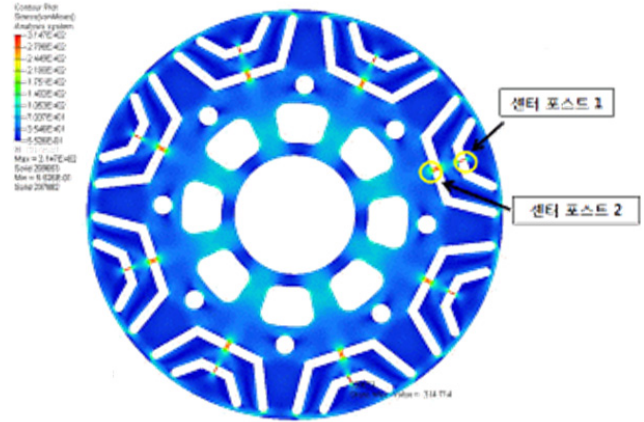


〈그림 5〉 센터 포스트 간격에 따른 역기전력의 변화

기본 모델은 센터 포스트1의 간격이 1mm이고 센터 포스트 2의 간격은 2.5mm이다. 센터 포스트1 간격을 1mm에서 0.4mm까지 0.2mm간격으로 줄였으며 동시에 센터 포스트2 간격은 2.5mm에서 0.5mm간격으로 1.0mm까지 줄여가며 해석을 진행하였다. 그림 3과 그림 4에 센터 포스트 간격 변화에 따른 토크 및 토크 리플 변화를 나타내었다. 앞서 언급한 바와 같이 센터 포스트1과 센터 포스트 2의 간격이 좁아질수록 전동기의 토크 특성이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 즉 센터 포스트 간격1과 센터 포스트 간격 2는 전동기 토크에 모두 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 하지만 그림 4에 나타난 토크 리플의 경우 센터 포스트 간격 1에 따라서는 값의 변화가 미비하지만 센터 포스트 간격 2에 따라서는 상대적으로 큰 값의 변화를 확인할 수 있다. 그림 5는 4450RPM에서 무부하 역기전력을 해석한 결과이다. 앞서 설명한 바와 같이 센터 포스트 간격이 좁아질수록 포화에 기여하는 자속량이 작아지므로 역기전력이 증가하게 된다. 토크 리플의 경우와 마찬가지로 역기전력도 토크 리플의 경우 센터 포스트 길이 2에 따른 특성 변화를 관찰할 수 있으나 센터 포스트 1의 길이 변화와의 상관관계는 크지 않은 것을 알 수 있다.

2.3 센터 포스트 길이에 따른 전동기 구조 해석 결과

센터 포스트 길이가 짧아질수록 전동기의 특성이 향상 된다는 것을 전자기적 해석을 통해 알아보았다. 최적의 센터 포스트 길이를 도출하기 위하여 재료의 물성 값을 고려해 최대속도 11500RPM에서 구조강도 해석을 실시하였다. 구조강도 해석을 위한 모델링을 그림 6에 나타내었다.



〈그림 6〉 전동기 구조강도 해석 결과

본 전동기 모델 코어는 35PN210을 사용하였고 이 재료의 항복 강도는 440MPa이다. 센터 포스트 간격을 줄여가면서 센터 포스트에 걸리는 응력을 해석을 통해 도출하였다. 항복 응력 해석 결과는 다음과 같다.

〈표 2〉 센터 포스트 간격에 따른 응력 해석 결과

	Base Case	Opt. Case
Center Post 1 [mm]	1.0	0.6
Center Post 2 [mm]	2.5	1.5
Max Stress [Mpa]	216.2	314.7
Safety Factor	2.04	1.40

해석 결과 안전율을 고려할 때 센터 포스트 간격1과 2가 각각 0.6, 1.5mm 일 때 전동기 출력 특성이 우수하고 안전율을 고려할 때 구조적으로 문제가 없는 것으로 나타났다.

3. 결 론

80KW급 EV용 IPMSM에 대하여 센터 포스트 길이에 따라 전자계 해석 및 구조강도 해석을 실시하였다. 전자계 해석을 통해 센터 포스트 간격이 짧아질수록 전동기의 동작 특성이 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 토크의 경우 센터 포스트 간격 1과 센터 포스트 간격2에 따라 특성 변화가 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있다. 그리고 토크리플과 역기전력의 경우 센터 포스트 간격 1보다는 센터 포스트 간격 2와의 상관관계가 더 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 구조 해석을 통해 안전율을 통하여 센터 포스트 간격의 구조적인 한계 간격을 확인하였다. 이러한 결과는 상세 설계에 있어서 기준 값으로 활용이 가능하다.

이번 연구에서는 전동기의 동작 특성만을 살펴보았지만 철심 포화에 따른 효율에 대한 연구가 병행되어 상세 설계가 진행되어야 한다. 또한 열 유동 해석 결과를 추가해 코어 포화에 따른 열 발생 문제도 검증해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김기찬, 'EV/HEV용 매입형 영구자석 동기전동기의 최적 설계 및 제어 특성 연구', 한양대학교 대학원 박사논문, 2008
- [2] 한양대학교 에너지 변환 연구실, '매입자석 동기모터의 설계 및 제어', 교보문고, 2010
- [3] 서장호, '차량 매입형 영구자석 전동기의 열 특성 해석 및 최적 설계', 서울대학교 대학원 박사논문, 2010년