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

홀소자 토크센서의 3차원 유한요소해석 및 고정자 치 형상설계

이보람, 김영선, 박일한
성균관대학교 정보통신공학부

3D FE Analysis of Hall Effect Torque Sensor and Shape Design of Its Stator teeth

Bo Ram Lee, Young Sun Kim, and Il Han Park
School of Information and Communication Engineering, Sungkyungkwan University

Abstract - Electric Power Steering(EPS) system is superior to conventional Hydraulic Power Steering(HPS) system in aspect of fuel economy and environmental concerns. The EPS system consists of torque sensor, electric motor, ECU(Electric Control Unit), gears and etc. Among the elements, the torque sensor is one of the core technologies of which output signal is used for main input of EPS controller. Usually, the torque sensor has used torsion bar to transform torsion angle into torque. The torsion angle of both ends of a torsion bar is measured by a contact variable resistor. In this paper, the sensor is accurately analyzed using 3D finite element method and its characteristics with respect to four different shapes of the stator teeth are compared. The four shapes are rectangular, triangular, trapezoidal and circular type.

1. 서 론

자동차는 현대를 살아가는 우리 인간에 있어서 생활의 필수품처럼 매우 유용하게 사용되고 있으나 각종 자동차는 전 세계적으로 환경오염 및 에너지 소모의 주범으로 그 기여율이 매우 높아 가장 시급히 해결하지 않으면 안 될 환경오염의 문제 중의 하나이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 여러 가지 기술들이 개발되고 있는 가운데 가까운 시일 내에 적용 가능한 기술들을 통해 현재 사용되고 있는 부품을 친환경 및 에너지 효율이 높은 부품으로 교체하여 문제점을 해결하고자 하는 노력들이 제기되고 있다. 그러한 시도 중에 눈에 띄는 것은 전기에너지를 자동차에 활용하는 것으로써 에너지 효율을 높이는 아주 효과적인 방법일 뿐만 아니라 중량을 줄이고 자동차를 친환경적인 기계로 탈바꿈 시킬 수 있다. 전기자동차 및 하이브리드 자동차가 가장 좋은 예라 볼 수 있으나 기존 내연기관으로 이루어진 시스템을 완전히 바꾸지 않고서 시도해 볼 수 있는 것이 조향장치 변화이다.

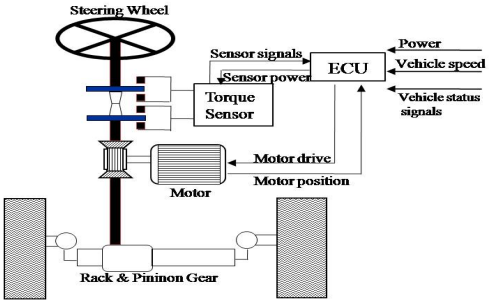
운전자의 편의성 및 조향감 향상을 위해 자동차에 조향장치가 장착되었으며, 엔진으로부터 얻은 보조 동력으로 유압을 이용하는 HPS 시스템이 사용되었다. 이 방식은 운전자의 조향의지에 따라 바퀴를 회전시키는 보조 동력으로 작용하며, 엔진으로부터 동력을 받아 유압펌프를 작동시켜 고압의 보조 동력을 얻어 사용하였다. 이는 유압을 발생시키는 기계적 부품의 크기가 크고, 무게가 무겁고, 엔진의 힘을 이용하기 때문에 엔진의 출력 및 차의 연비가 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해, 새로운 조향장치로 EPS 시스템이 최근에 유압식 조향장치를 대체해 나가고 있다.

EPS 시스템은 전동기를 통해 운전자의 조향력을 보조해주는 장치로, 복잡한 유압장치를 제거함으로써 전체적인 차량의 무게를 줄일 수 있고, 오일을 사용하지 않으므로 환경 친화적인 장점을 가지고 있으며 필요시에만 동력 보조를 하므로 연비를 개선할 수 있다. EPS 시스템은 전기모터, ECU, 토크센서 등의 부품이 결합되어 하나의 시스템으로 이루어지며 핵심부품인 토크센서 개발이 절대적으로 선행되어야 한다. 토크센서는 운전자의 조향 토크를 측정하여 결과적으로 ECU에 의한 모터의 보조 동력이 발생 하게끔 하는데 중요한 역할을 하게 된다. 우리나라를 비롯한 여러 선진국들은 EPS 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이미 다른 나라에서는 시제품을 개발하여 차량에 장착하고 있다.

2. 본 론

2.1 EPS System의 홀소자 토크센서

EPS 시스템은 차량에 장착되어 있는 발전기와 배터리에 의해 전원을 공급받아 모터를 회전시키며 모터와 스티어링 축 사이의 감속기어를 통해 스티어링 보조력을 발생시키는 장치이다. 운전자가 조작하는 스티어링 축의 움직임을 토크센서가 감지해 바퀴를 회전시키고자 하는 방향으로 보조 조향력을 적절히 제어함으로써 고속 시 차량 안정성과 저속 시 조향 용이성을 제공하여 운전자의 조향을 한층 간편하게 해준다.

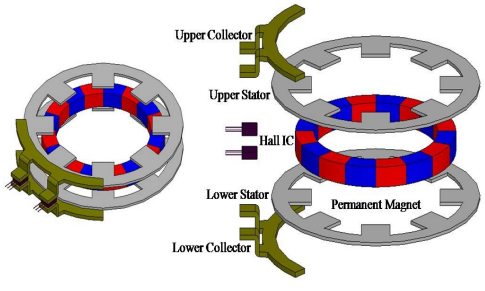


<그림 1> Structure of EPS system

그림 1은 EPS 시스템의 구성과 동작을 나타낸다. 사용자가 조향의지를 가지고 핸들을 조작 할 때, 스티어링 칼럼의 출력축과 입력축 사이에 토크가 발생된다. 이때 발생된 토크는 스티어링 칼럼의 출력축과 입력축을 연결하는 토션바에 의해 양 축의 비틀림 각으로 변환된다. 이때, 토크센서는 비틀림 각을 검출하고 이를 전기적 신호로 변환하여 ECU로 전달한다. ECU는 토크센서에서 전달받은 신호를 토크 량으로 변환한 후, 모터를 구동하여 토크를 상쇄시킨다. 이로서 운전자는 작은 힘으로 편하게 조향장치를 조작하는 것이 가능하다.

토크센서는 EPS 시스템의 핵심부품으로 운전자가 핸들에 가하는 힘(토크)과 회전 방향 및 각도(조향각)를 감지해 필요한 보조 동력의 크기 및 방향을 판단해서 수시로 변하는 주행 환경에 맞춰 최적의 핸들 조작력을 제공하는 장치이다. 토크센서가 가져야 할 구성적인 부분은 크게 두 가지인데, 하나는 Torsion Bar의 비틀림 각을 검출하는 부분이고, 다른 하나는 비틀림 각을 ECU에 효과적으로 전달하는 것이다.

토크센서는 크게 접촉식과 비접촉식 방식이 있다. 초기에는 주로 접촉식 방식으로 Torsion Bar 양단의 비틀림 각을 접촉식 가변저항을 이용하여 측정하는 방식이 사용되었으나 신호처리가 어렵고 유지보수가 힘든 단점을 가지고 있어서 현재는 비접촉식 방식이 선호되고 있다. 비접촉식 방식은 코일을 사용하여 인덕턴스 변화로 검출하는 방식, 광학 소자를 이용하는 방식, 그리고 홀소자를 이용하는 방식 등이 있다.



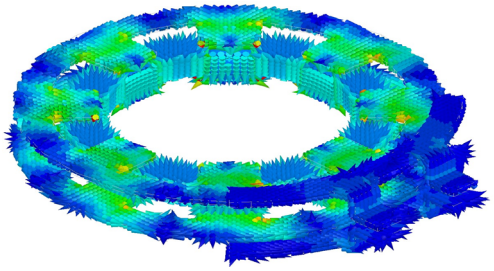
<그림 2> Exploded view of the Hall effect torque sensor

그림 2는 본 논문에서 해석 대상으로 하는 홀소자 토크센서이다. 구성하는 부품들은 자속을 발생시키기 위한 영구자석, 영구자석으로부터 발생되는 자속을 두 축의 비틀림 양에 따라 선형적으로 한곳으로 모아주는 요크, 그리고 특정부위에 유도된 자속을 검출하는 Hall 타입 센서로 되어있다. 작동원리는 기준위치에서 영구자석에서 발생된 자속이 stator의 위치(upper teeth)와 아래치(lower teeth)를 일정하게 지나게 되어 있어 collector를 지나는 자속이 없다. 그러나 영구자석과 stator가 기준위

치를 벗어나 조금이라도 회전하게 되면 위치와 아래치의 평형이 깨지면서 collector부에 위치한 홀센서로 자속이 유입되어 이를 측정하여 뒤틀린 정도를 알아낸다.

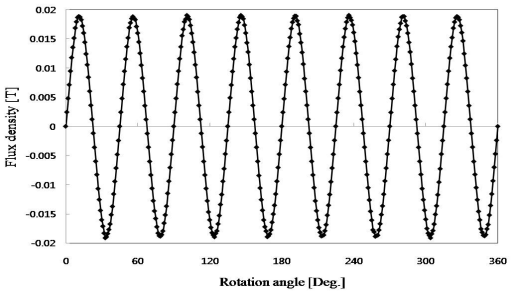
2.2 토크센서의 자계특성 해석

그림 3은 영구자석이 기준위치에서 11° 회전했을 때 토크센서의 자장 분포를 나타낸다.



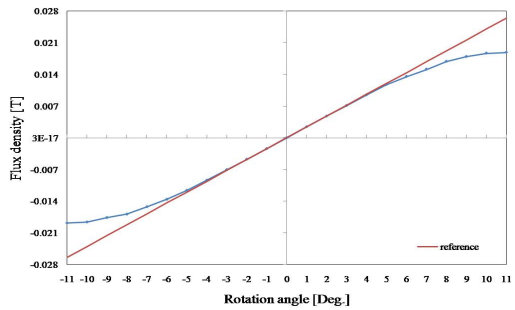
〈그림 3〉 Magnetic flux distributions of torque sensor

그림 4는 토크센서가 0°부터 360° 까지 회전 각도에 따른 자속밀도 값을 나타내고 있다. 0° 를 기준으로 사인파 형태로 값이 나타나는 것을 알수있다.



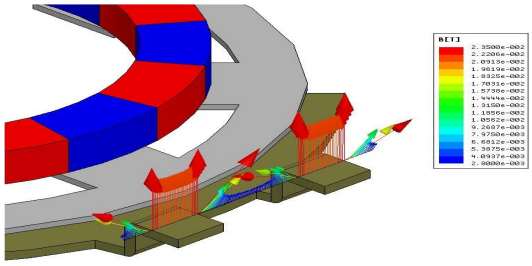
〈그림 4〉 Magnetic flux density at the Hall sensor according to rotation angles

토크센서의 동작 영역은 -4.5° ~ 4.5° 이며, 이 영역에서 선형 특성을 만족하여야 한다. 요구되는 토크센서의 선형 특성을 검증하기 위하여 수치해석 하였다. 해석 결과 그림 5와 같이 토크센서의 출력값은 요구되는 선형 특성을 만족하는 결과를 확인하였다.



〈그림 5〉 Linearity of magnetic flux density

그림 6는 토크센서가 기준위치에서 11° 회전했을 때의 collector 부위에서 자장분포를 나타낸다.

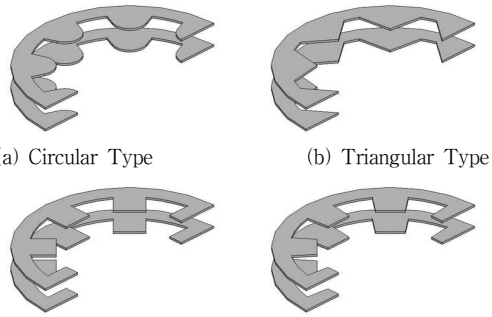


〈그림 6〉 Magnetic flux distribution around the collector

2.3 토크센서의 고정자 치 형상 설계

토크센서는 정밀한 응답특성을 필요로 하므로 다음과 같은 성능 개선이 필요하다. 첫째, 선형특성이 커야 한다. 둘째, 선형 범위가 커야한다. 셋째, 자속밀도 값이 커야 한다.

위와 같은 성능 개선을 위해서, 특허와 다른 논문들을 찾아본 후에 4종류의 stator teeth의 prototype을 만들었다. 4종류의 stator teeth의 prototype은 그림 7과 같다.

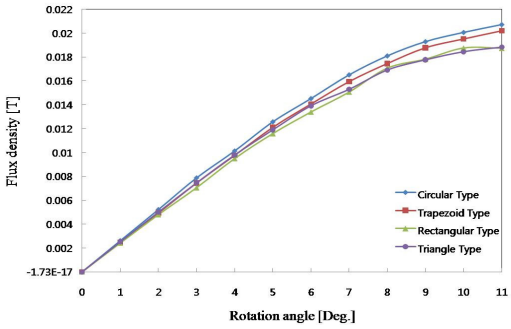


(a) Circular Type (b) Triangular Type

(c) Rectangular Type (d) Trapezoidal Type

〈그림 7〉 Design shape of teeth for numerical analysis

제약 조건으로 면적을 같게 해서 4가지 prototype에 대한 해석을 실행했다. 그 결과 그림 8과 같이 stator teeth 모양에 따라 값이 조금씩 다르게 나오는 것을 알 수 있다. 그리고 Circular Type이 선형특성, 선형범위, 자속밀도 값이 가장 크게 나왔다.



〈그림 8〉 Magnetic flux density of various stator teeth shapes

3. 결 론

본 논문은 EPS 시스템용 홀소자 토크센서의 3차원 유한요소 해석 및 고정자 치 형상 설계를 하였다. 복잡한 3차원 구조를 가진 토크센서의 자장 분포를 정밀 해석 하였다. 토크센서의 선형 출력 값은 -4.5° ~ 4.5° 이며 요구되는 선형 특성을 만족하는 결과를 확인하였다. 홀센서에서 출력 flux 커브특성을 4가지 stator teeth에 따라 비교했으며, stator teeth의 수정디자인은 선형특성, 선형범위, 자속밀도의 크기가 개선되었다. 향후 가장 좋은 결과가 나온 stator teeth의 prototype을 기본으로 최적설계가 가능할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] D. Angleviel, D. Frachon, G. Masson, “Development of Contactless Hall effect torque sensor for Electric Power Steering”, SAE 2006-01-0939

[2] D. H. Lim “Finite element method of electric machine”, Dongmyungsa, 1992

[3] F. Jerems, et al., Sensor for Modern Steering Assist Systems, SAE 2004-01-1773.

[4] E. Fröhlich, et al., Device for Determining the Torque Exercised on a Shaft, US2004/0194560 A1.

[5] A. W. Burton, “Innovation drivers for electric power-assisted steering,” IEEE Control Systems Magazine, vol. 23, no. 6, pp. 30-39, Dec. 2003.

[6] D. Angleviel, D. Frachon, G. Masson, Development of Contactless Hall Effect torque sensor for Electric Power Steering, SAE 2006-01-0939.