

EPS용 SRM의 효율향상 설계와 특성해석

김태형, 안진우, 황형진  
경성대

Design of Efficiency Improvement and Characteristics Analysis of SRM for EPS Application

Tae-Hyoung Kim, Jin-Woo Ahn, Hyoung-Jin Hwang  
Kyungsu Univ.

**Abstract** - This paper presents a design and characteristics analysis of a SRM drive for EPS application. A rack mounted EPS system is considered in this paper. A conventional driving room space and mechanical structure are suggested in design stage. In the restricted design conditions, motor parameters are determined for sufficient torque and speed. For the smooth torque generation and simple circuit of power system, 12/8 motor drive is considered. With FEM and magnetic circuit analysis, designed motor is simulated to meet the requirement of specifications. Effectiveness of the suggested SRM drive for EPS application is verified by the manufactured prototype motor drive tests.

장치는 한계가 있기 때문에 조향장치에 동력원을 설치하여 운전자의 핸들 조작력을 보조한다. 현재 자동차의 파워스티어링은 엔진 동력에 의한 유압을 이용하여 작동되는 방식이 대부분이나, 최근 들어 보다 환경친화적이고 기존 유압식 파워스티어링에 비하여 중량, 패키지, 엔진 부담도 등의 측면에서 유리한 EPS가 확산되고 있다.

1. 서론

기존의 파워 스티어링(Power Steering)은 엔진의 구동력을 이용한 유압펌프의 동작을 통하여 핸들의 조타력을 감소시켜 왔다. 이 경우 고속주행시 지면과의 접지력 저감을 따른 핸들 조작시 안정성의 저감과 환경적인 문제 또한 경제적인 측면에서도 문제를 가지고 있었으며 차량의 자동화에도 많은 제약을 가져 왔다. 이에 1990년 초부터 일본을 중심으로 경차 및 소형차등에 EPS(Electrically Power Steering)가 적용되어 현재 전세계적으로 확대 적용되고 있다. EPS는 운전자의 스티어링 휠 조타력을 전동기를 이용 보조 경감하는 장치로서 조타시 접지력의 향상 및 안정감 향상 등을 목적으로 개발되었다.

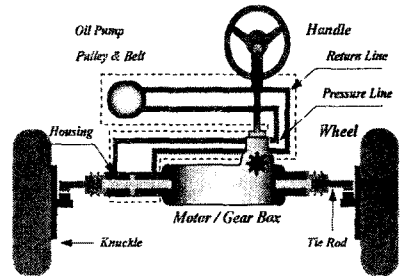


그림 1. 파워스티어링 시스템  
Fig 1. Power steering system

장점으로는 기존의 유압식 파워 스티어링에 사용되던 오일을 사용하지 않아 보다 환경 친화적이며, 연비측면에서도 향상을 가져올 수 있고 속도차에 따른 핸들링의 중량감을 구현함으로써 안정적인 운전을 가능하게 한다.

그림 1에서 기존의 일반적인 유압식 스티어링 시스템이 EPS으로 전환될 경우 점선으로 표시된 부분인 오일 펌프 및 벨트 유압 파이프 등이 기어박스로 표시된 부분을 포함하는 장점이 있다. 이에 따라 공간적인 확보와 더불어 차량의 경감화를 기대할 수 있으며 유압시스템에 공급되던 동력의 불필요로 인하여 연비의 절감을 기대할 수 있다. 또한 차량의 속도에 따른 조타력의 조절을 통하여 저속과 고속에서의 조타비율을 조절하여 안정성을 꾀할 수 있는 장점을 가진다.

본 연구에서는 기 개발되었던 EPS용 SRM(Switched Reluctance Motor)의 문제점인 저효율 문제를 개선 위하여 기존 제약조건이었던 전동기의 외경제함을 벗어나 효율을 중심으로 설계하였으며 각 속도 별 효율 및 요구토크에 대한 출력토크의 적절성을 시뮬레이션을 통하여 선택하고 그 효용성을 증명하였다.

EPS의 형태는 크게 경차 및 소형차에 주로 이용되는 컬럼형태, 중·대형차에 사용되는 락 마운트 형태가 있으며 본 연구에서는 락 마운트 형태의 EPS용 SRM의 설계 및 연구개발 하였다.

2. SRM의 EPS 시스템 적용

2.2 EPS용 SRM의 설계 및 제작

2.1 EPS 시스템의 특징 및 형태

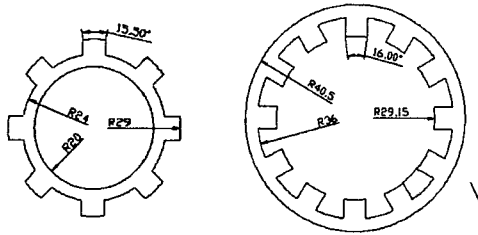
SRM은 단위 제작당 발생하는 토크가 크고 고정자 집중권 방식의 전동기구조로서 그 기계적 구조가 간단하고 제작비용이 상대적으로 저렴하다. 또한 견고하며 높은 효율과 넓은 속도 범위 등의 장점을 가진다.

자동차가 점차 고급화됨에 따라 저압타이어의 이용, 대형차량의 자동화 등으로 전륜의 접지저항이 증대하여 조향핸들의 조작력도 커져야할 필요성이 요구되고 있다. 이로 인하여 조향장치의 개량이 요구되지만 기계식 조향

이에 SRM을 EPS에 적용할 경우 기존의 전동기구보다 높은 성능을 발휘하는데 적합하다 할 수 있다.

기존에 제작되었던 EPS용 SRM은 기존의 파워 스티어링 시스템에 직접적인 대체가 가능하도록 유압식 파워 스티어링의 외형적 조건하에서 제작되어 왔으며 이로 인하여 효율의 개선에 많은 문제가 발생하였다. 또한 사용

되어지는 전원전압이 12[VDC]로 낮아 성능의 향상에 많은 어려움을 가지고 있었다. 아래 그림 2는 이전 연구에서 제작되어진 EPS용 SRM의 설계치를 나타낸 것이다.



(a) 회전자 (Rotor) (b) 고정자 (Stator)  
그림 2. 설계된 전동기  
Fig. 2 Prototype SRM

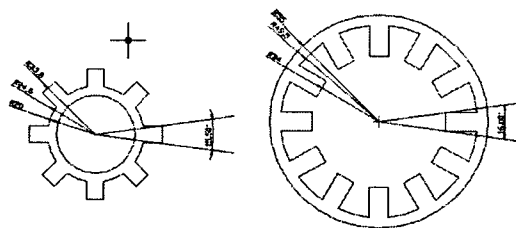
표 1. 전동기의 재원  
Table 1. Specifications of the prototype SRM

정격전압	12[V]	출력	320[W]
기준전류	36[A]/800rpm 72[A]/400rpm	요구 토크	3.8[Nm]/800rpm 7.2[Nm]/400rpm
기준속도	400[rpm] 800[rpm]	극당 권선수	12[turn]
전동기길이	105[mm]	공극	0.2[mm]

표 2. 전동기의 성능  
Table 2. Performances of Prototype SRM

구분 [rpm]	토크[N·m]		효율 [%]	전류[A]			전류 밀도
	요구치	설계치		최대	최소	평균	
400	7.2	7.67	31.95	106	35.2	52.3	14.29
800	3.8	3.42	51.98	64.82	24.30	34.14	9.368

표 1은 이전에 제작되어진 설계결과와 성능표를 나타낸 것이다. EPS 시스템에 적용되는 SRM의 정격전압은 12[VDC]이며 효율 및 토크 등을 고려하여 12/8 극 SRM을 선정하여 치수를 설계하였다. 초기전동기의 길이는 105[mm]로 하였고, 기준속도는 400[rpm]인 경우와 800[rpm]인 경우의 두 가지 조건에서의 기준전류와 요구 토크를 고려하여 설계되었다.



(a) 회전자 (Rotor) (b) 고정자 (Stator)  
그림 3. 재설계된 전동기  
Fig. 3 Redesigned SRM

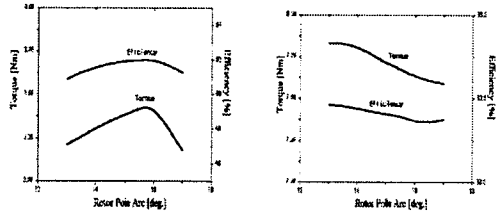
재설계된 전동기에서의 요구 성능은 초기전동기와 같고, 재설계된 전동기의 길이는 5[mm], 외경은 29[mm] 증가하였으며, 극당 권선수 및 공극은 초기 전동기와 동일하게 설계되었으며 그 성능은 표 3과 같다. 또한 초기전동기의 제작상 어려움이 있었던 슬롯내 권선

점유율을 30[%]에서 25[%]로 낮추어 설계함으로써 권선의 삽입시 편의성을 증가 시켰다.

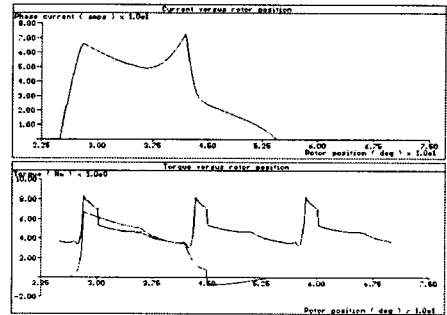
표 3. 재설계된 전동기의 성능  
Table 3. Performances of redesigned SRM

구분 [rpm]	토크[N·m]		효율 [%]	전류[A]			전류 밀도
	요구치	설계치		최대	최소	평균	
400	7.2	7.786	53.4	107.4	33.77	56.46	14.29
800	3.8	4.302	72.7	79.45	23.77	37.0	9.368

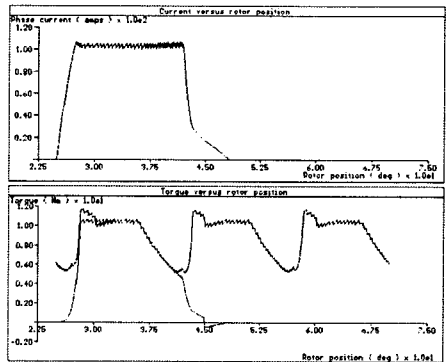
### 2.3 시뮬레이션 비교



(a) 12/8, 800[rpm] ( $\beta_s=16$ ) (b) 12/8, 400[rpm] ( $\beta_s=16$ )

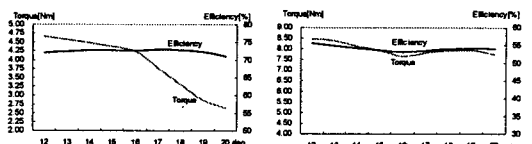


(c) 800[rpm] 전류 및 토크 파형

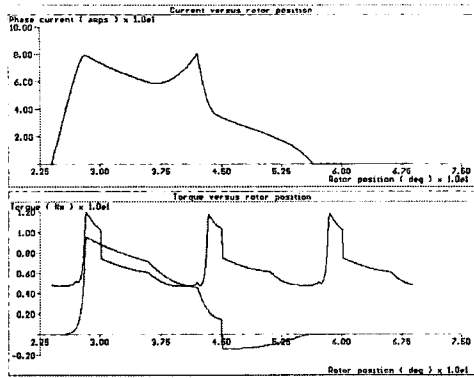


(d) 400[rpm] 전류 및 토크 파형

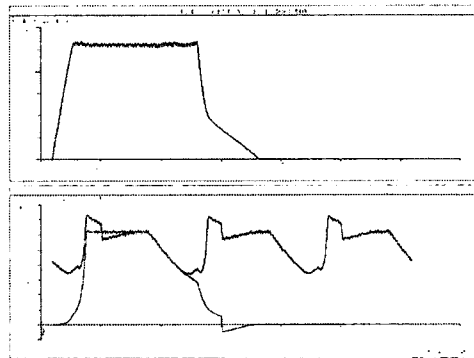
그림 4. 기존 전동기에서의 시뮬레이션 결과  
Fig 4. Analyzed performance at the prototype SRM



(a) 12/8, 800[rpm] ( $\beta_s=16$ ) (b) 12/8, 400[rpm] ( $\beta_s=16$ )



(c) 800(rpm) 전류 및 토크 파형



(d) 400(rpm) 전류 및 토크 파형

그림 5. 재설계 전동기에서의 시뮬레이션 결과  
Fig 5. Analyzed performance at redesigned SRM

본 연구에서는 전동기의 크기와 회전자 요오크 두께, 그리고 회전자와 고정자의 극호각을 요구되는 출력 토크와 속도를 고려하여 설계하였다. 이러한 설계는 그림 4.5에서 보여주며 400(rpm)인 경우와 800(rpm)인 경우에 전동기의 회전자 극호각에 따른 출력을 해석 비교하였다. 그림 4.5의 (a),(b)를 비교해 보면, 400(rpm)인 경우와 800(rpm)인 경우 모두 재설계된 전동기가 기존 전동기에 비해 효율이 20%정도 향상된 것을 알 수 있다. 또한, 기존전동기에 비해 재설계된 전동기가 토크 리플이 적음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

SRM은 최근 반도체 소자의 발전과 메카트로닉스 기술이 발전함에 따라 선진국을 중심으로 산업전반에 걸쳐 그 응용영역을 확대해 가고 있는 전동기이다. 본 연구는 EPS용 SRM을 기존의 시스템의 영향을 주지 않고 SRM으로의 대체를 위해서 제한된 설계 치수 이내에서 전동기를 설계·제작하였던 것을 효율 상승을 목적으로 재설계 하였다. 또한, 시뮬레이션으로부터 재설계된 전동기가 기존의 전동기에 비해 효율이 20[%]정도 높아진 것을 알 수 있었다. 또한, 토크의 해석에서도 그 타당성을 검증하였다.

이후 자계해석 프로그램을 사용하여 시뮬레이션으로부터 기존 전동기와의 자속 포화상태를 비교하고, 고성능 제어기를 사용한 실험을 통해 EPS용으로 제작된 SRM의 활용도를 입증할것이다. 실험에 사용될 제어기는 SRM의 고성능 제어를 위하여

전동기 제어 전용으로 설계된 TI사의 TMS320F241을 사용한 제어시스템을 구성 할 것이다.

이 연구는 BB21 Project 지원에 의하여 수행되었음.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Aly Badawy, Jeff Zuraski, Farhad Bolourchi and Ashok Chandy, "Modeling and Analysis of an Electric Power Steering System" Steering and Suspension Technology Symposium, 1999
- [2] Aly A. Badawy, Farhad Boloruchi, Steven K. Gaut, "E-Steer II Redefines Steering Technology", Automotive Engineering, Automotive Systems Review of Technical Achievements, pp. 15-18, SAE International Magazine, September, 1997.
- [3] Jin-Woo Ahn, Switched Reluctance Motor, O-Sung Media, 2001.
- [4] C. S. Kim, S. G. Oh, J. W. Ahn and Y. M. Hwang, "The Design and the Characteristics of SRM Drive for Low Speed Vehicle" Annual Proc. of KIEE, pp. 871-873, 2001.
- [5] C. S. Kim, S. G. Oh, J. W. Ahn and Y. M. Hwang, "The Design and the Characteristics of SRM Drive for Low Speed Vehicle" Annual Proc. of KIEE, pp. 871-873, 2001.
- [6] 손익진, 허윤, 안진우, "EPS용 SRM의 설계 및 특성해석", 대한전기학회, 한국전기전자재료학회 부산지부 춘계학술대회, pp68-72, 2002
- [7] 손익진, 오석규, 안진우, "EPS용 릴럭턴스 전동기 및 제어기의 설계", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 864-866, 2002
- [8] 김봉철, 안영주, 안진우, "DSP 기반의 EPS용 SRM 구동 시스템 개발", 대한전기학회 부산지부 춘계학술대회, pp. 13-15, 2003
- [9] 김봉철, 박성준, 안진우, "EPS용 SRM의 효율향상 설계", 대한전기학회 부산지부 춘계학술대회, pp. 1-3, 2003