

EPS용 릴럭턴스 전동기의 구동특성

손익진, 안진우, 이동희, 허윤\*  
 경성대학교, \*대우정밀

Driving Characteristic of Reluctance Motor for EPS Application

Ick-Jin Sohn, Jin-Woo Ahn, Dong-Hee Lee, Yoon Hur\*  
 Kyungshung Univ., \*Daewoo Precision Co.

**Abstract** - In this paper, SRM is designed and analyzed for EPS(Electrically Power Steering) application. EPS of vehicles plays a role that reduce driver's handle control power. For the proper design, FEM analysis is implemented according to the rotor structure. Designed motor is simulated with both FEM and magnetic circuit analysis.

Effectiveness of the suggested SRM drive for EPS application is verified by the manufactured prototype motor drive tests.

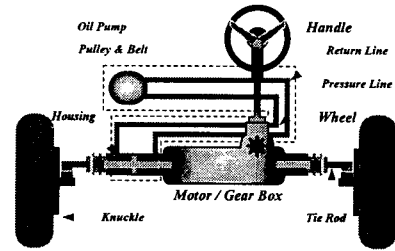


그림 1. 파워스티어링 시스템  
 Fig. 1 Power steering system

1. 서론

파워스티어링(Power Steering)은 지금까지 대부분의 경우에 엔진의 동력을 이용한 유압을 이용하여 운전자의 핸들 조작력을 경감시켜주는 역할을 수행해 오고 있다. 그러나 최근에 기존의 엔진의 동력을 이용한 유압식보다 좀더 환경 친화적이고, 경제적인 측면에서도 유리한 전동기를 이용하여 동력을 얻는 EPS가 경차 및 소형차를 중심으로 적용이 확산되어져 가는 추세에 있다<sup>(1)</sup>.

SRM은 일반적인 전동기에 비하여 전동기구가 간단하고, 고효율, 경제성, 시스템 제어의 강인성, 우수한 견인특성 넓은 범위의 속도제어가 가능한 장점을 가지고 있어서 그 실용적 가치가 매우 높다. 본 연구는 이러한 장점을 가진 SRM을 EPS(Electrically Power Steering)에 적용하고자 한다<sup>(2)</sup>. 이에 EPS용 SRM 전동기를 기존의 허용치수 이내에서 필요한 토오크와 속도를 감안하여 설계하고 시뮬레이션과 실험을 통해 특성을 해석하여 EPS 시스템의 SRM의 적용 및 효율성을 확인하고자 한다.

2. SRM의 적용

2.1 EPS 시스템을 위한 SRM의 적용

최근까지 자동차의 핸들 조작은 엔진출력을 이용한 유압방식에 적용되어 왔다. 이러한 유압조작방식은 친환경성, 부드러운 조작, 신뢰성 등의 이유로 전기식 대체되고 있는 실정이다<sup>(3)</sup>.

본 연구에서는 이러한 방식을 보다 경제적이고 신뢰성을 향상시키며 일반 승용차에도 적용하기 위하여 SRM을 이용한 EPS 시스템을 개발하고자 한다. 이에 대한 제약조건으로서 기존의 시스템을 교체 하지 않고 유압식 파워스티어링 시스템에서 SRM을 이용한 EPS 시스템으로의 전환을 위해서 전동기 크기는 기존의 유압조작방식 시스템에서 SRM으로의 적용을 위해 공간을 고려하여 설계하였다.

그림 1은 일반적인 레카운트 파워스티어링 시스템을 보여준다.

그림 1에서 보듯이 기존의 일반적인 유압식 EPS 시스템이 전동기의 동력만을 이용한 EPS으로 전환될 경우 점선으로 표시된 부분인 오일펌프 및 벨트 유압파이프등이 기어박스로 표시된 부분에 포함되는 장점이 있다.

2.2 EPS 시스템의 설계치수 및 제약조건

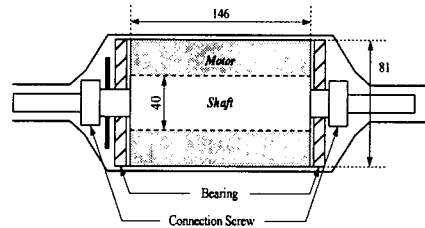


그림 2. SRM 설계 치수  
 Fig 2. Design dimension of SRM

본 연구에 적용된 SRM의 설계 치수 및 재원은 그림 2과 같다. MOTOR 부의 직경은 29.7 (mm)의 중공을 가지고 91 [mm]이하가 되어야 한다. 또한 전체 길이는 146 [mm] 이하이어야 한다. SENSOR 부의 직경 또한 29.7 [mm]의 중공을 가지고 91 [mm]이하가 되어야 한다. 그리고, BEARING과 SENSOR부의 길이는 24 [mm] 이하이어야 한다.

이것은 기존 시스템을 그대로 유지하고 전동기를 SRM으로 대체하기 위해서 필수적이다.

2.3 EPS용 SRM의 설계 및 제작

EPS 시스템에 적용되는 SRM의 정격전압은 12(VDC)이며 출력 및 코깅 토오크 등을 고려하여 12/8극 SRM을 선정하여 치수를 설계하였고, 설계결과와 요구 성능은 표 2에서 보여진다.

표 2는 선정된 전동기의 재원을 나타내고 있으며 전동기의 가공성과 제작을 고려하여 치수를 결정하였다.

표 1. 전동기의 재원

Table 1. Specification of the prototype SRM

정격전압	12[V]	출력	320[W]
기준전류	36[A]/800rpm 72[A]/400rpm	요구 토크	3.6[Nm]/800rpm 7.2[Nm]/400rpm
기준속도	400[rpm] 800[rpm]	극당 권선수	12[turn]
전동기길이	105[mm]	공극	0.2[mm]

표 1은 선정된 전동기의 재원을 나타내고 있으며 전동기의 가공성과 제작을 고려하여 최종치수를 결정하였다. 전동기의 길이는 105[mm]로 하였고, 기준속도는 400[rpm]인 경우와 800[rpm]인 경우의 두가지 조건에서의 기준전류와 요구 토크를 고려하여 설계하였다. 전동기의 극당 권선수는 12[turn]이 되었으며 전동기의 공극은 가공성을 고려하여 0.2[mm]로 설계하였다.

2.4 전동기 설계에 따른 시뮬레이션

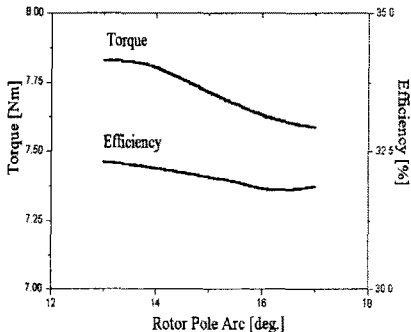
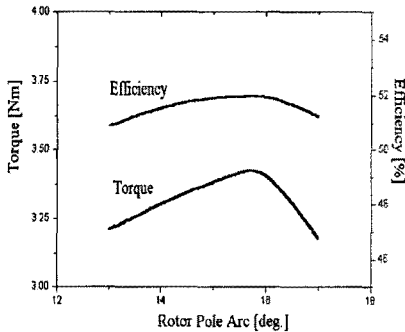


그림 3. 시뮬레이션 결과  
Fig. 3 Analyzed performance

전동기의 설계치수의 제약으로 전동기의 크기와 회전자 요소크두께, 그리고 회전자와 고정자의 극호각을 요구되는 출력 토크와 속도를 고려하여 설계하였다. 이러한 설계는 그림 3에서 보여주듯이 회전자 극호각에 따른 출력을 해석·비교하였다.

3. EPS용 SRM 실험시스템의 구성

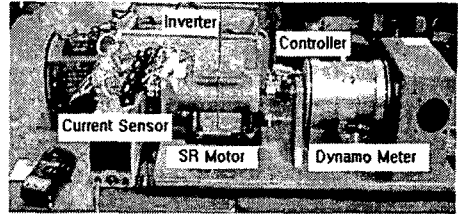


그림 4. 전체 EPS 시스템  
Fig. 4 EPS system

그림 4는 실험에 사용된 전체 EPS시스템을 보여준다. 이 시스템은 크게 전동기부, 인버터부, 제어부의 3가지 부분으로 나뉘며 전동기의 출력의 측정을 위해서 MAGTROL 社의 HD-715-7 다이내모메타를 사용하여 SRM의 토크와 출력 및 속도를 측정하였다.

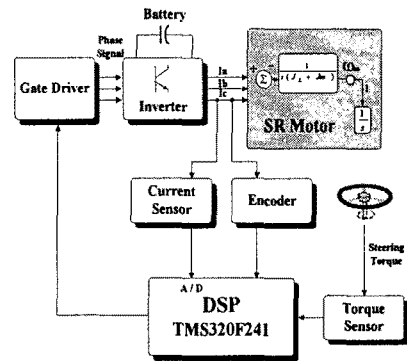
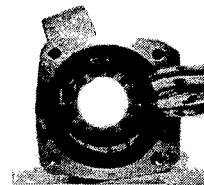


그림 5. 전체 시스템 블록도  
Fig. 5 Control block diagram

그림 5는 실험이후 차량에 장치될 시스템의 전체 블록도를 보여주고 있다. 스티어링 휠을 조작하여 축에 회전방향의 변화가 생기면 토크 센서를 통해 DSP 제어기로부터 전동기의 회전방향과 함께 전동기의 회전 토크와 속도를 Gate Amp를 통해 인버터에 스위칭 신호를 보낸다. 각상의 전류는 전류검출기를 통해서 전류를 제어하고 전동기의 속도 및 위치 정보의 처리는 엔코더에 의해서 제어기에 입력된다.



(a) 고정자



(b) 회전자

그림 6. 제작된 EPS용 SRM 전동기의 고정자 및 회전자  
Fig. 6 Stator and Rotor of SRM for EPS Application

그림 6은 제작된 EPS용 SRM 전동기의 회전자 및 고정자를 보여주는 그림이다. 전동기는 고정자 12극 회전자 8극의 3상 12/8 SRM을 제작하였고 실제 차량에 장착될 전동기는 회전자의 Shaft 축에 중공이 존재 하지만 본 제작 전동기는 구동실험을 위한 증분형 엔코더를 장착하기 위해서 엔코더 장착부가 직경 10(mm)의 축으로 가공되어 있는 것을 볼 수 있다. 전동기의 하우징은 기존의 랙마운트 시스템에서 사용하고있는 제품을 사용하여 제작하였다.

### 3. 실험 및 고찰

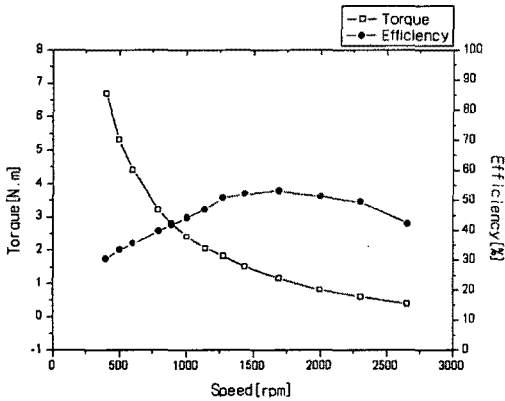


그림 7. 시작기의 속도-토크-효율 특성 곡선  
Fig. 7 Speed-torque-efficiency characteristics of proto-type motor

그림 7은 제작된 EPS용 SRM 전동기의 실험을 통해 측정된 속도-토크 특성 곡선을 보여준다. 그래프로부터 EPS 시스템의 요구성능을 제작된 SRM이 만족함을 알 수 있었다. 하지만 전동기의 효율이 50[%]이하로 현저히 낮아 앞으로 효율개선의 문제 해결에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

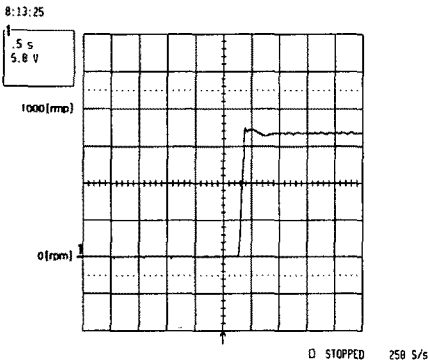


그림 8. 속도 응답곡선(800[rpm])  
Fig. 8 Curve form of speed response(800[rpm])

그림 8은 설계된 제어기에 의한 EPS용 SRM의 속도 응답특성을 보여주는 실험파형이다. 파형의 축정은 500(rpm)/10V의 출력을 발생시키는 타코제너레이터를 사용하였으며, 측정시 지령속도는 800(rpm)이다. 파형에서 볼 수 있듯이 지령속도에 대해 속도 제어기의 속도응답이 0.2초 이내로 빠름을 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 설계제작하였다. 그리고 자체해석 프로그램인 Flux2D를 사용하여 시뮬레이션으로 부터 토오크를 해석하고 요구조건을 만족함을 확인하였다. 또한 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다. 그러나 설계 치수의 제약과 랙마운트 시스템의 특징으로 전동기 중공축의 공간확보가 불가피 하여 전동기 전체에 걸쳐 자속의 포화가 심하다. 특히 회전자 및 고정자 요오크와 자극이 만나는 곳에서의 포화로 인하여 전체의 자속밀도가 억제되고 있으며, 이곳에서의 자속밀도가 높아 더 이상의 자속 증가가 이루어지지 않으므로 허용치수내에서는 운전효율을 높이는 것이 쉽지 않았다. 이에 대한 대책으로 투자율이 우수한 철심을 사용하여 자속밀도의 증가를 피하여야 할 것이다. 실험에 사용된 제어기는 SRM의 고성능 제어를 위하여 전동기 제어 전용으로 설계된 TI사의 TMS320F241을 사용한 제어시스템을 구성하였다. 설계된 제어기는 EPS용으로 제작된 SRM에 적용되어 그 성능을 검증하였으며 이후 실제 차량 시스템에 장착하여 그 활용도를 입증하여야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 부산시 자동차 분야 고부가가치 품목 기술개발 사업에 의한 결과의 일부이며, 부산시와 대우정밀에 감사드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Jin-Woo Ahn, *Switched Reluctance Motor*, O-Sung Media, 2001.
- [2] 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.
- [3] Aly Badawy, Jeff Zuraski, Farhad Bolourchi and Ashok Chandy, "Modeling and Analysis of an Electric Power Steering System" Steering and Suspension Technology Symposium, 1999
- [4] S. Y. Pyo and J. W. Ahn, "High Efficiency PLL Control for SRM Drive", The Journal of Electronics, KIEE, Vol. 5, No. 3, pp. 215-220, 2000.
- [5] C. S. Kim, M. G. Kim, H. G. Lee and J. W. Ahn, "Development of SRM and Drive System for Small Pallet Truck" Annual Proc. of KIEE, pp. 732-734, 2000.
- [6] Texas Instruments "TMS320F243/F241/C242 DSP Controllers Reference Guide - System and Peripherals", January, 2000