

# EPS 구동용 SR Drive의 설계

손익진, 이동희, 안진우  
경성대학교

## Design of SR Drive for EPS Application

Ick-Jin Sohn, Dong-Hee Lee, and Jin-Woo Ahn  
Kyungshung Univ.

### ABSTRACT

Power steering of a car plays a role that reduce driver's handle control power. Lately, it is operated using oil pressure by most engine power. However, it is tendency that electrically power steering (EPS) is used recently instead of oil pressure type more for environmental and economical reason.

In this paper SRM is designed and analyzed for EPS application.

### 1. 서 론

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 현재 자동차 분야에서 운전자의 핸들 조작력을 경감 시키는 역할을 수행하는 EPS(Electrically Power Steering)에 적용하고자 한다. 현재 EPS의 대부분은 엔진 동력에 의한 유압을 이용하여 작동된다. 하지만 최근 기존의 유압식 보다 환경친화적이고 경제적으로 유리한, 전동기를 이용한 EPS가 확산되어 가는 추세이다. 이에 EPS용 SRM 전동기를 기존의 허용치수 이내에서 필요한 토크와 속도를 감안하여 설계하고, 자계해석과 시뮬레이션을 통해 특성을 해석하여 EPS 시스템의 SRM의 적용 및 효율성을 확인하고자 한다.

### 2. EPS용 SRM의 개발

#### 2.1 SRM 설계

최근까지 자동차의 핸들 조작은 엔진출력을 이용한 유압방식에 적용되어 왔다. 이러한 유압조작방

식은 친환경성, 부드러운 조작, 신뢰성 등의 이유로 고급 승용차를 중심으로 전기식 대체되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 방식을 보다 경제적이고 신뢰성을 향상시키며 일반 승용차에도 적용하기 위하여 SRM을 이용한 EPS를 개발하고자 한다. 이에 대한 제약조건으로서 전동기 크기는 기존의 유압조작 방식 시스템에서 SRM으로의 적용을 위해 공간을 고려하여 설계하였다.

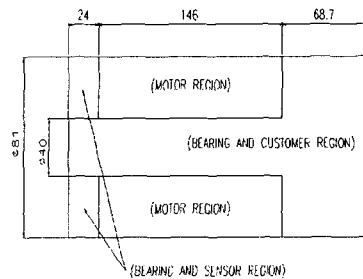


그림 1 SRM 설계 규격  
Fig. 1 Design dimension of SRM

본 연구에 적용된 SRM의 설계 규격 및 재원은 그림 1과 같다. 이 때 적용되는 SRM의 정격전압은 12[VDC]이며 출력 및 코깅 토크 등을 고려하여 12/8극 SRM을 선정하여 치수를 설계하였고, 설계결과와 요구 성능은 표 1에서 보여진다.

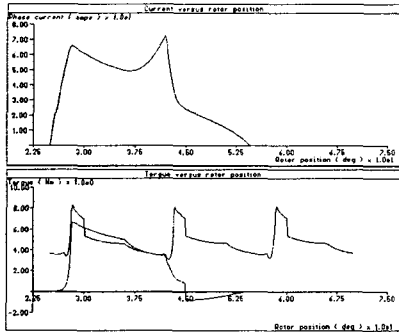
표 1 전동기의 재원

Table 1 Specification of the prototype SRM

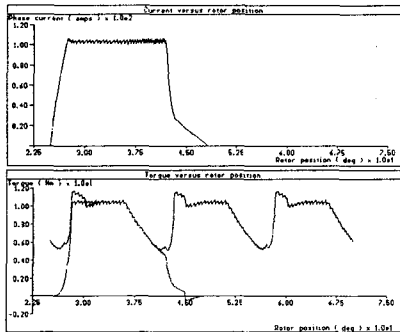
정격전압	12[V]	출력	320[W]
기준전류	36[A]/850rpm 72[A]/400rpm	요구 토크	3.6[Nm]/850rpm 7.2[Nm]/400rpm
기준속도	400[rpm] 850[rpm]	상당 권선수	12[turn]
전동기길이	105[mm]	공극	0.2[mm]

표 1은 선정된 전동기의 재원을 나타내고 있으며 전동기의 가공성과 제작을 고려하여 최종치수를 결정하였다.

SRM의 설계는 SRD 설계프로그램을 이용하여 EPS에서 요구되는 속도, 토크, 전류, 외형치수 등을 고려하여 기본 설계를 하였다.



(a) 850 rpm



(b) 400 rpm

그림 2 전류 및 토크 파형 (a) 850 rpm (b) 400 rpm

Fig. 2 Current and torque

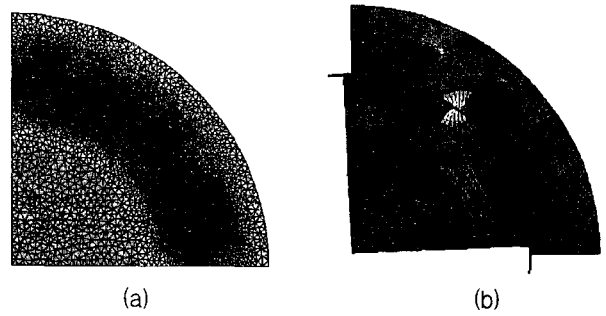
(a) 850 rpm (b) 400 rpm

그림 2의 전류 및 토크 파형은 제어를 고려하지 않은 경우로 실제 구동시스템의 경우 제어를 통해 토크리플을 최소화 되도록 제어알고리즘을 구현해야 한다.

### 2.1.1 성능평가를 위한 시뮬레이션

EPS용 SRM의 기본설계는 SRD 프로그램을 사용하고 상세설계를 위한 FEM 해석은 FLUX2d 프로그램을 이용하였다.

그림 3은 FEM 해석 결과를 보여주고 있다. 그림 3(a)는 12/8 SRM의 해석을 위해 1/4 부분으로 mesh를 나눈 모양을 보여주고 있으며 그림 3(b)는 FEM 해석을 통한 자속분포와 자력선 방향을 보여주고 있다. 그림으로부터 고정자와 회전자의 요크나 극 부분의 포화는 정상적이지만 극이 만나는 곳에서의 국부적인 포화가 심하여 자속밀도를 제한하고 있음을 알 수 있다.



(a)

(b)

그림 3 FEM 해석

(a) FEM 해석을 위한 mesh

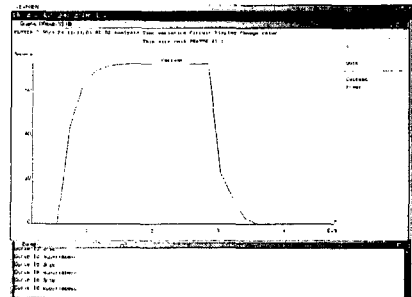
(b) 자속 분포와 자기력선 방향

Fig. 3 FEM analysis

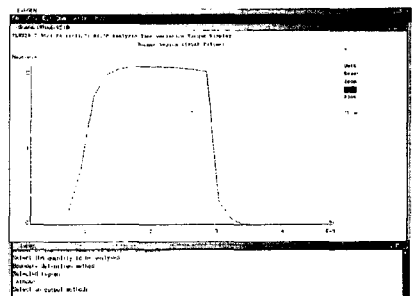
(a) Mesh for FEM analysis

(b) Flux distribution and magnetic force direction

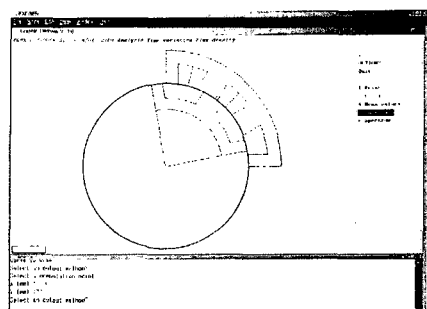
그림 4는 800rpm에서의 전류, 토크, 자속밀도 등을 보여주고 있다. 이때 스위치 온각은 4°이고 오프각은 11°이다.



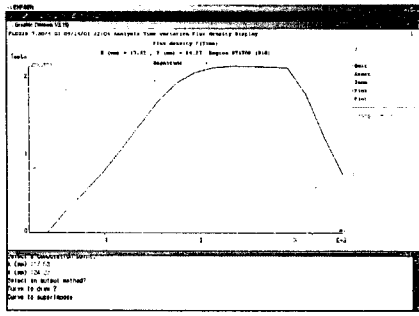
(a)



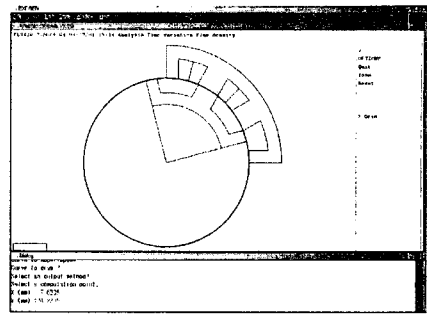
(b)



(c)



(d)



(c)

그림 4 Flux2D 해석 (800rpm)

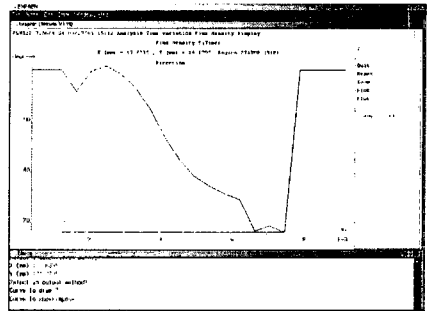
- (a) 전압과 전류 (b) 공극에서의 토크  
(c) 자속밀도 측정 지점(X) (d) 자속밀도

Fig. 4 Flux2D Analysis (800rpm)

- (a) Voltage and current (b) Torque of gap  
(c) measurement point (x) (d) Flux density

그림 4(a)는 한 상의 인가되는 전압과 상전류를 보여 주고 있다. 그림 4(b)는 공극에서 발생하는 발생 토크를 보여주고 있다. 그림 4(c)는 X 위치에서의 자속밀도를 보여주고 있다. 이 위치는 그림 4(d)에서 보는 바와 같이 자속포화가 가장 심한 곳임을 알 수 있다.

그림 5는 400rpm에서의 스위치 온각  $3^\circ$  오프각  $12^\circ$ 에서의 상전류, 토크, 자속밀도 등을 보여주고 있다. 이상의 FEM 시뮬레이션 결과에 따르면 800 rpm에서의 전류는 평균 34[A] 정도로 설계 요구조건을 만족한다.



(d)

그림 5 Flux2D 해석 (400rpm)

- (a) 전압과 전류 (b) 공극에서의 토크  
(c) 자속밀도 측정 지점(X) (d) 자속밀도

Fig. 5 Flux2D Analysis (400rpm)

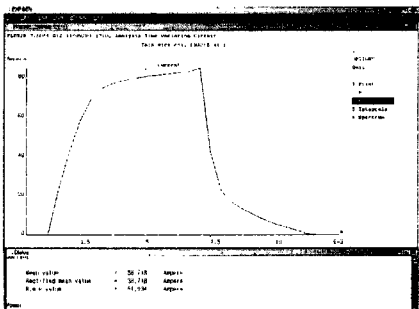
- (a) Voltage and current (b) Torque of gap  
(c) measurement point (x) (d) Flux density

그림 5(b)에서 보는 바와 같이 평균토크는 3.6[Nm]로서 적절한 스위칭각의 조정으로 요구조건을 만족한다. 400 [rpm]에서의 경우도 평균 토크는 8.6[Nm]이고, 평균전류는 61[A]로 요구조건을 만족한다.

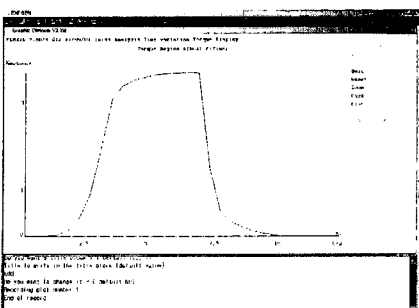
## 2.2 제어기의 구성

제어기의 구성은 SRM의 고성능 제어를 위하여 전동기 제어 전용으로 설계된 TI사의 TMS320F241을 사용한 제어시스템을 구성하였다. 설계된 제어시스템은 SRM의 제어를 위해서 상전류의 검출 및 엔코더 신호의 검출을 프로세서 내에서 처리하도록 설계되어 있어 하드웨어의 구성이 매우 단순하다. 특히, 고정도 AD컨버터의 내장으로 인하여 상전류의 검출 정도가 8비트 PIC 및 여타 마이크로프로세서에 비해서 높고, 변환 시간도 빠르다. 또한 16비트 기본 연산을 지원하므로, 제어기의 연산시간이 매우 빨라지는 장점이 있다. 따라서 본 개발에서는 이러한 DSP의 장점을 이용하여 20 kHz의 스위칭 속도를 가지도록 설계되었다.

그림 6은 제작된 제어기를 나타내고 있다. 엔코더 신호는 TLP181을 통하여 제어부와 센서부를 절연처리 하였고, 제어 시스템의 전원은 플라이백



(a)



(b)

회로로, SMPS를 제어 시스템 내에 원보드 장착하였다. 과전류 보호를 위해 과전류를 저항으로 검출하여 차동증폭기를 통하여 인버터 신호를 차단하는 알고리즘을 적용하였다.

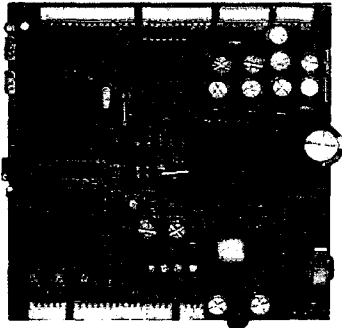


그림 6 제작된 제어기  
Fig. 6 Complete controller for SRM

본 개발에서는 64핀의 PLCC 타입의 TMS320F241을 프로세서로 사용하는 제어시스템을 직접 설계하여 EPS용 12/8 SRM의 속도제어에 적용하였다.

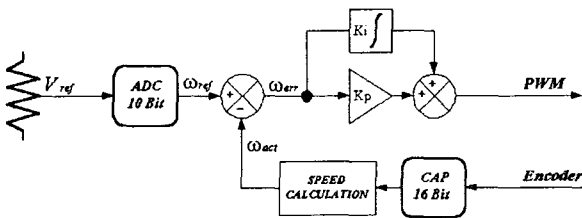


그림 7 속도제어기의 구성  
Fig. 7 The component of speed controller

그림 7에서 보는 바와 같이 SRM의 상전류가 10비트의 AD 컨버터를 통하여 입력되고, 센서의 신호는 CAP3 핀으로 입력되어 펄스와 펄스사이의 간격을 속도정보로 이용하였다. 속도제어는 PI 제어기로 구성되어 PWM 방식의 전압 제어 기법을 사용하였다.

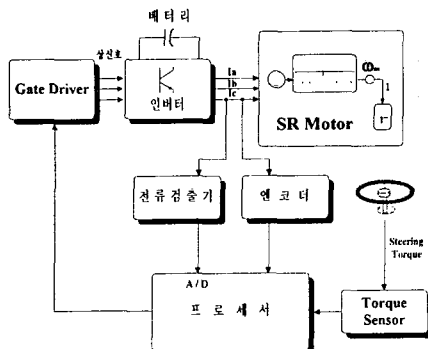


그림 8 전체 시스템 블록도  
Fig. 8 Block diagram of the EPS drive system

그림 8은 실험 시스템의 전체 블록도를 보여주고 있으며, 스티어링 휠을 조작하여 축에 회전방향의 변화가 생기면 토오크 센서를 통해 제어기로부터 전동기의 회전방향과 같게 회전 토오크와 속도를 지시한다.

### 3. 결 론

본 시뮬레이션으로 부터 400[rpm]에서의 토오크는 flux2D 해석에서 요구조건을 만족함을 알 수 있다. 그러나 그림 3(b)에서 보듯이 포화가 가장 심한 곳은 자극이 만나는 곳으로 이곳에서는 포화로 인하여 전체의 자속밀도가 억제되고 있으며, 이곳에서의 자속밀도가 높아 더 이상의 자속 증가가 이루어지지 않으므로 허용치수내에서는 운전효율을 높이는 것이 쉽지 않을 것이다. 이에 대한 대책으로 우선 적정 도통구간(드웰각)의 선정을 통해 토오크를 조정하고, 보완적으로 투자율이 우수한 철심을 사용하여 자속밀도의 증가를 피하여야 할 것이다.

이후 설계된 제어기는 프로토 타입으로 설계된 EPS용 SRM에 적용되어 그 성능을 검증해야 할 것이다.

본 연구는 과학재단 목적기초연구 (R01-2001-000300-0) 지원으로 수행하였음.

### 참 고 문 헌

- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, 2001.1
- [2] 안진우, "EPS용 SRM의 최적설계 및 구동 Driver 개발" 대우정밀 개발 보고서, 2001.12
- [3] 김창섭, 안진우, 김명규, 이호길, "소형 지게차용 SRM 구동시스템의 개발", 대한전기학회 하계 학술대회, 2000. 7, pp. 732-734
- [4] 김창섭, 오석규, 안진우, 황영문, "LSEV용 SRM의 설계 및 구동특성" 대한전기학회 하계 학술대회, pp. 871-873, 2001. 7
- [5] Texas Instruments " TMS320F243 / F241 / C242 DSP Controllers Reference Guide - System and Peripherals ", January, 2000