

Design and Drive Characteristics of SRM for EPS Application

安 珍 雨* · 孫 翼 鎭** · 李 東 熙***
(Jin-Woo Ahn · Ick-Jin Son · Dong-Hee Lee)

Abstract - This paper presents a design and characteristic analysis of an SRM drive for EPS(Electrically Power Steering) application. A rack mounted EPS system is considered in this paper. A conventional driving room space and mechanical structure are considered in a 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 studied by the drive tests of a prototype motor .

Key Words : EPS(Electrically Power Steering), 12/8SRM, design, DSP controller

1. 서 론

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^[1,2].

전동식은 기존의 일반 조향장치에서 발생되었던 저속주행 및 주차시의 조향력 증가문제는 해결하였으나 고속주행중 노면과의 접지력 저하에 따른 조향휠의 답력이 가벼워지는 문제는 해결할 수 없었다. 이와같은 고속주행중 노면과의 접지력 저하로 인해 발생하는 조향휠의 조향력 감소문제를 해결하고자 EPS(Electrically Control Power Steering)가 개발되었다. 이러한 EPS는 두가지 타입으로 개발이 되고 있다. 첫 번째는 기존의 유압식과 유사하나 유압펌프가 엔진의 구동벨트에 의해 구동되는 것이 아닌 전기모터에 의해 구동되는 EHPS (Electric Hydraulic Power Steering)시스템이고 두 번째는 전기모터가 직접 스티어링 기구를 조작하는 EPAS (Electric Power Assisted Steering)이다.

최근 기존의 유압식 보다 환경친화적이고 경제적으로 유리한, 전동기를 이용한 EPS가 확산되어 가는 추세이다. 이에 본 연구에서는 EPS용 SRM 전동기를 기존의 허용치수 이내에서 요구되는 토크와 속도를 감안하여 설계하고, 자계해

석과 시뮬레이션, 그리고 실험을 통해 특성을 해석하고 EPS 시스템의 SRM의 적용 및 효율성을 확인하고자 한다.

2. EPS 시스템을 위한 SRM의 적용

2.1 EPS 시스템의 특징

자동차가 점차 고급화됨에 따라 저압타이어의 이용, 대형 차량의 자동화 등으로 전륜의 접지저항이 증대하여 조향핸들의 조작력도 커져야할 필요성이 대두 되고 있다.

이로 인하여 조향장치의 개량이 요구되지만 기계식 조향장치는 한계가 있기 때문에 조향장치에 동력원을 설치하여 운전자의 핸들조작력을 보조한다.

일반적으로 조향장치의 감속비(gear ratio)는 15 - 25이지만 감속비를 이보다 크게 하면 조향 조작은 가벼워지는 대신에 핸들을 돌리는 수효가 많아져 만족한 조작이 어렵다. 따라서 감속비는 작게 하고 외부에서 보조하는 힘을 가하는 것이 동력 조향장치이다. 이러한 이유로 EPS 시스템의 연구가 활발히 진행되고 있다^[1].

현재 자동차의 파워스티어링은 엔진 동력에 의한 유압을 이용하여 작동되는 방식이 대부분이나, 최근들어 보다 환경 친화적이고 기존 유압식 파워스티어링에 비하여 중량, 패키지, 엔진 부담도 등의 측면에서 유리한 EPS가 확산되고 있다.

EPS는 1980년대 초반에 기본적인 개발이 시작되었고, 1980년대 말에 와서야 피니언타입이 경차에 최초로 적용되어 실용화 되었다.

2.2 SRM의 여자특성

자기적 구조를 매개로 하는 전기기계 에너지변환기구의

* 正 會 員 : 慶星大學校 電氣電子컴퓨터工學部 教授
** 準 會 員 : 慶星大 大學院 電氣電子工學科 碩士課程
** 正 會 員 : 慶星大學校 電氣電子컴퓨터工學部 Post-Doc.
接受日字 : 2003年 5月 7日
最終完了 : 2003年 11月 3日

토오크에는 상호 토오크(Mutual Torque)와 릴럭턴스 토오크(Reluctance Torque)가 있다. 상호 토오크는 고정자와 회전자에 각각 여자에너지를 인가할 때 극대화되는 토오크로 일정 회전자계 여자특성에서 발생된다. 릴럭턴스 토오크는 고정자 또는 회전자 한 쪽에만 여자에너지를 인가할 때 자기적 구조에 의존하여 발생하는 토오크로서 자기회로의 릴럭턴스와 여자에너지의 변화로 유도되며, 여자에너지를 인가한 상의 릴럭턴스가 최소화되려는 특성에 기인한다. 그러므로 자체구조는 전동기가 회전함에 따라 릴럭턴스가 변화하는 돌극형이 필요하지만 기하학적 구성에는 한계가 있으므로, 일정한 회전구간마다 연속적인 펄스 여자전원의 인가가 필요하다. 그림 1은 이중돌극형 SRM 드라이브의 기본구성도이다.

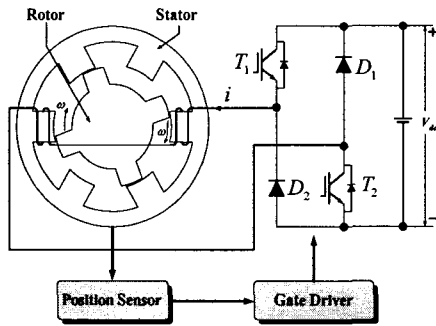


그림 1 SRM 구동시스템
Fig 1 drive system of SRM

SRM은 릴럭턴스 토오크를 동력화한 전동기로 자기회로의 릴럭턴스가 최소화되는 방향으로 토오크가 발생하며 전동기의 토오크 식을 구하기 위하여 Coenergy, W'_c 의 개념을 도입하여 SRM의 토오크 식을 구하여 보면 다음과 같다^[3].

이중돌극형 SRM의 자기구조상 자기회로의 Coenergy W'_c 는 식 (1)과 같다.

$$W'_c = \frac{1}{2} i^2 \cdot L(\theta, i) \tag{1}$$

여기서 i 는 상권선의 전류, L 은 인덕턴스이다. 한 상에 대한 토오크 T_e 는 회전자의 위치각, θ 에 대한 coenergy의 편미분항으로서 식(2)와 같이 얻어진다.

$$T_e = \frac{\partial W'_c}{\partial \theta} = \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \tag{2}$$

여기서 SRM의 발생토오크는 전류의 제곱에 비례하고 위치각에 대한 인덕턴스의 기울기에 비례함을 알 수 있다. 토오크가 전류의 제곱에 비례함으로써 상전류의 방향과 무관하게 토오크를 발생시킬 수 있으며, 인덕턴스의 기울기에 따라서 토오크의 부호가 달라지므로 회전방향에 대하여 역방향의 토오크인 부토오크(Negative Torque)가 발생하는 회전자의 위치각도가 존재한다. 그러므로 SRM은 부토오크의 억제를 위해서는 반드시 회전자의 위치각에 따라 동기되어 스위칭 여부를 해야 한다.

2.2 랙마운트 EPS 시스템

그림 2는 일반적인 랙 마운트 파워스티어링 시스템을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 최근까지 자동차의 핸들 조작은 엔진출력을 이용한 유압방식에 적용되어 왔다. 이러한 유압조작방식은 친환경성, 부드러운 조작, 신뢰성 등의 이유로 전기식 대체되고 있는 실정이다.

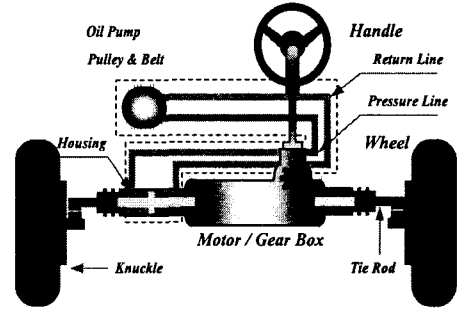


그림 2 파워스티어링 시스템
Fig 2 Power steering system

그림에서 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.

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 고려하였다. 이를 위해서 전동기 크기는 기존의 유압조작 방식 시스템에서 SRM으로의 적용을 위해 동일한 치수와 규격으로 설계하였다.

3. EPS 시스템의 설계와 시뮬레이션

3.1 EPS용 전동기의 제약조건 및 설계치수

본 연구에 적용된 SRM의 설계 치수 및 채원은 그림 3과 같다. Motor 부의 직경은 29.7 [mm]의 중공을 가지고 91 [mm]이하가 되어야 한다. 또한 전체 길이는 146 [mm] 이하이어야 한다. 그리고, Bearing과 Sensor 부의 길이는 24

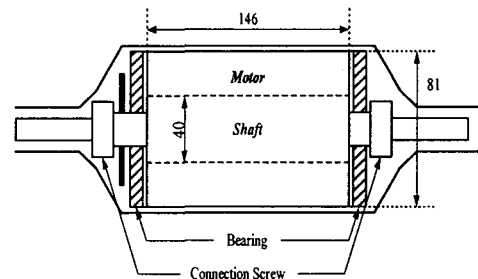


그림 3 SRM 설계 치수
Fig. 3 Design dimension of SRM

[mm] 이하이어야 한다. 이것은 기존 시스템을 그대로 유지하고 전동기를 SRM으로 대체하기 위해서 필수적이다.

3.2 전동기 설계

SRM의 기본설계는 설계보조 프로그램을 사용하고 설계결과에 대한 FEM 해석은 자체해석 전용 프로그램을 이용하였다.

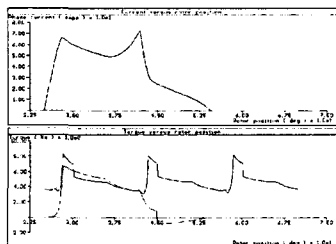
표 1 전동기의 재원

Table 1 Specifications of the prototype SRM

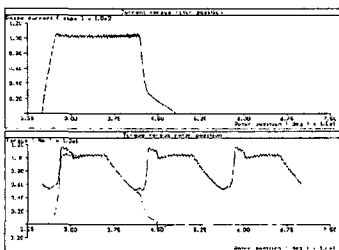
정격전압	12[V]	출력	320[W]
기준전류	36[A]/800rpm 72[A]/400rpm	요구 토오크	3.6[Nm]/800rpm 7.2[Nm]/400rpm
기준속도	400[rpm] 800[rpm]	극당 권선수	12[turn]
전동기길이	105[mm]	공극	0.2[mm]

EPS 시스템에 적용되는 SRM의 정격전압은 12[Vdc]이며 출력 및 토오크리플 등을 고려하여 12/8극 SRM을 선정하여 치수를 설계하였고, 설계결과와 요구 성능은 표 1에서 보여진다. 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 토오크를 고려하여 설계하였다. 전동기의 극당 권선수는 12[turn]이 되겠으며 전동기의 공극은 가공성을 고려하여 0.2[mm]로 설계하였다.

SRM의 설계는 기본설계와 설계 보조 프로그램을 이용하였다. 또한 출력 및 토오크리플 등을 고려하여 12/8극 SRM을 선정하여 치수를 설계하였고, 설계결과는 그림 4와 그림 5에서 보여진다.



(a) 800 rpm



(b) 400 rpm

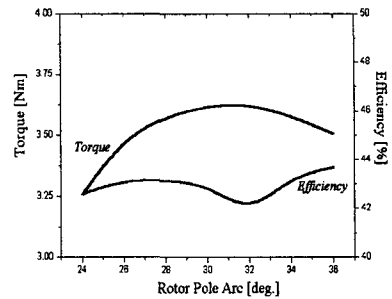
그림 4 시작전동기의 전류 및 토오크 파형
Fig. 4 Current and torque of a prototype motor

그림 4의 전류 및 토오크파형은 제어를 고려하지 않은 경우로 실제 구동시스템의 경우 제어를 통해 토오크리플을 최소화 되도록 제어알고리즘을 구현해야한다.

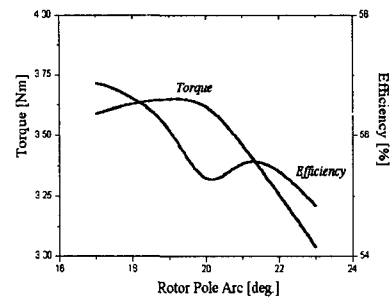
3.3 극수선정을 위한 시뮬레이션

본 연구에서는 전동기 설계에 있어서 비선형 특성 해석을 위해 FEM(Finite Element Method) 해석을 사용하였다. 전동기의 설계치수의 제약으로 전동기의 크기와 회전자 요오크 두께, 그리고 회전자와 고정자의 극호각을 요구되는 출력 토오크와 속도를 고려하여 설계하였다.

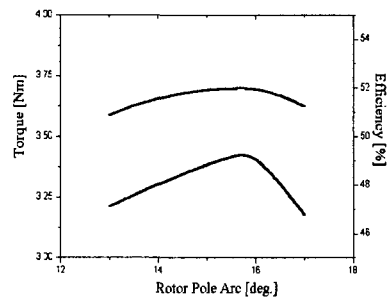
이러한 설계는 그림 5와 6에서 보여주는 전동기의 고정자 및 회전자의 극수가 6/4, 8/6, 12/8의 3가지 종류의 전동기에 대하여 회전자 극호각에 따른 출력을 해석·비교하였다. 이러한 해석 결과로 본 연구의 SRM의 극수를 12/8로 선택하였다.



(a) 6/4 SRM ($\beta_s = 32$)



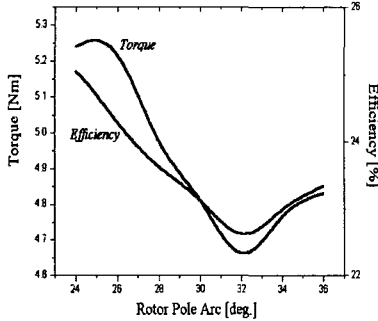
(b) 8/6 SRM ($\beta_s = 20$)



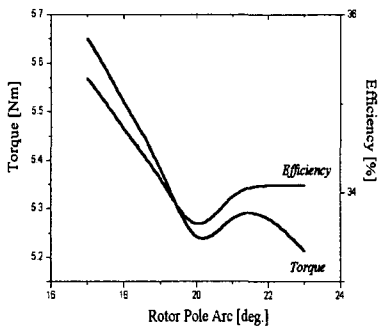
(c) 12/8 SRM ($\beta_s = 16$)

그림 5 800[rpm]에서의 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Analyzed performance at 800 [rpm]

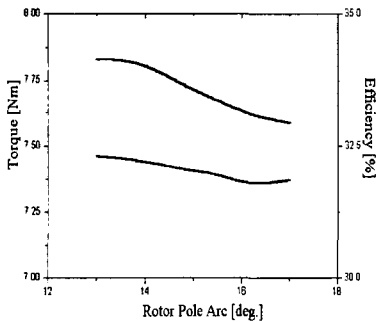
그림 5는 800[rpm]에서의 6/4, 8/6, 12/8 전동기의 3가지 종류의 전동기에 대한 출력 시뮬레이션을 보여주며, 그림 6은 400[rpm]에서의 6/4, 8/6, 12/8 전동기의 출력 시뮬레이션을 보여준다.



(a) 6/4 SRM ($\beta_s = 32$)



(b) 8/6 SRM ($\beta_s = 20$)



(c) 12/8 SRM ($\beta_s = 16$)

그림 6 400[rpm]에서의 시뮬레이션 결과
Fig 6 Analyzed performance at 400 [rpm]

그림 5(a)에서 6/4전동기는 800rpm에서의 토오크가 요구치에 어느정도 부합됨을 볼수 있으나 효율이 8/6 SRM과 12/8 SRM에 비하여 상대적으로 낮음을 볼수 있다.

그림 5(b)와 그림 5(c)에서는 800[rpm]에서의 8/6 SRM이 같은 속도에서의 12/8 SRM보다 높은 효율과 출력을 보여준다. 하지만 그림 5에서 볼 수 있듯이 8/6전동기는 출력 요구치인 400[rpm]에서의 7.2[N.m]의 출력을 나타내지 못하는 것을 볼 수 있다.

또한 8/6 전동기는 4상으로 인버터 구성이 3상의 12/8 전동기보다 더 많은 스위칭 소자를 요구하므로 인버터 제작 단가상승의 단점이 있다.

그림 6은 앞서 설명한 바와 같이 그림 6(a)의 6/4 SRM과 그림 6(b)의 8/6 SRM는 400[rpm]에서의 토오크가 요구치에 미치지 못함을 알수 있다. 하지만 12/8 SRM은 요구치에 만족함을 시뮬레이션 결과로 알수 있다.

표 2는 이상의 3가지 종류의 SRM전동기에 대해서 시뮬레이션한 결과를 나타낸 표이다. 표에서 알수 있듯이 12/8 SRM이 8/6 SRM에 비하여 효율이 조금 낮으나 설계시 요구되었던 출력 토오크의 값에 8/6이 미치지 못하므로 12/8 전동기를 선택하여 제작하였다. 또한 토오크리플의 경우 8/6과 12/8은 스트로크각이 같으므로 명목리플은 같으나, 상스위칭 소자면에서 12/8이 유리하다.

표 2 시뮬레이션 결과

Table 2 Analysis results

	6/4 SRM		8/6 SRM		12/8 SRM	
Speed [rpm]	800	400	800	400	800	400
Torque [Nm]	3.63	4.75	3.65	5.24	3.42	7.67
TR [rms]	2.03	2.60	2.16	3.13	1.18	2.02
Efficiency [%]	42.55	22.86	55.30	33.65	51.98	31.95
Turn on angle[deg]	50.0		36.0		25.0	
Turn off angle[deg]	77.0		52.0		42.0	
Dwell angle[deg]	27.0		16.0		17.0	

4. EPS용 SRM 실험시스템의 구성

그림 7은 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 토오크와 출력 및 속도를 측정하였다.

그림 8은 실험이후 차량에 장치될 시스템의 전체 블록도를 보여주고 있다. 스티어링 휠을 조작하여 축에 회전방향의 변화가 생기면 토오크 센서를 통해 DSP 제어기로부터 전동기의 회전방향과 같게 토오크와 속도명령을 인버터에 보낸다. 각상의 전류는 전류검출기를 통해서 전류를 제어하고 전동기의 속도 및 위치 정보의 처리는 엔코더에 의해서 제어기에 입력된다.

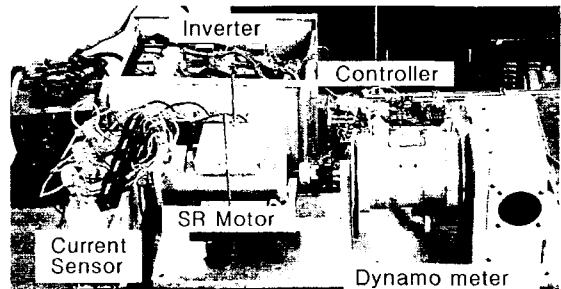


그림 7 EPS구동 시스템
Fig. 7 EPS drive system

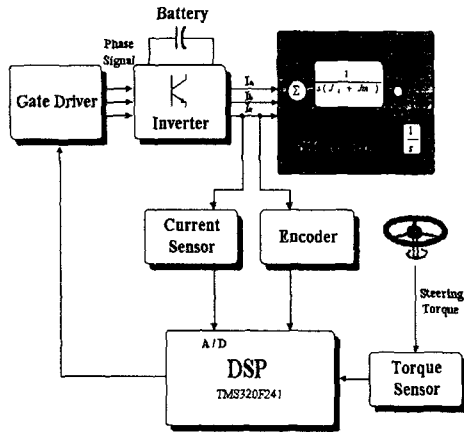
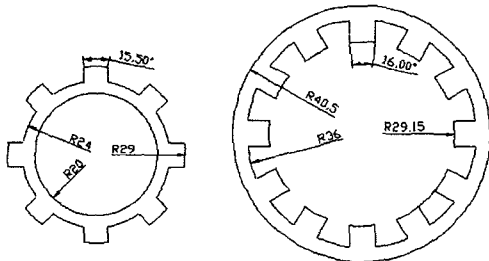


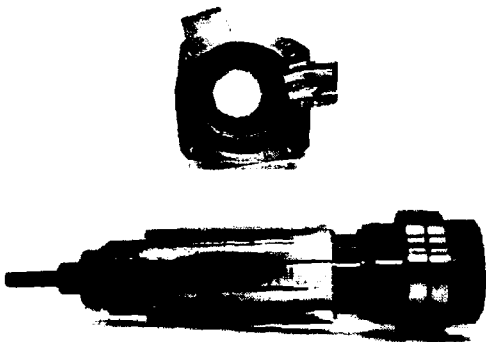
그림 8 전체 구동시스템의 블록도
Fig. 8 Block diagram of the EPS drive system

4.1. 전동기부

그림 9는 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 중분형 엔코더를 장착하기 위해서 엔코더 장착부가 직경 10[mm]의 축으로 가공되어 있다. 전동기의 하우징은 기존의 랙마운트 시스템에서 사용하고있는 제품을 사용하여 제작하였다.



(a) 설계도



(b) 제작도

그림 9 EPS용 SRM 전동기의 고정자 및 회전자
Fig. 9 Stator and rotor of prototype SRM

4.2. 인버터부

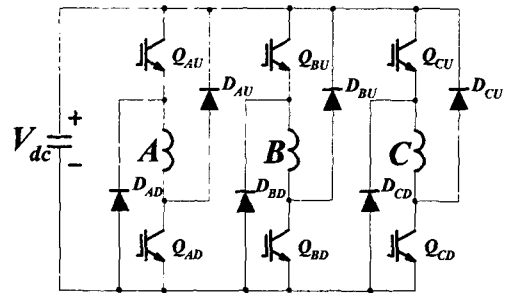


그림 10 3상 SRM용 비대칭 브릿지 컨버터
Fig. 10 Asymmetric bridge converter for 3-phase SRM

그림 10은 실험에 사용된 SRM구동에 있어 가장 많이 사용되는 비대칭 브릿지 컨버터 전력구성도를 나타내고 있다. 이 인버터는 상당 두 개의 스위치와 다이오드를 가지며, SRM구동용 컨버터 중에서 제어의 다양성이 가장 뛰어나며 각 상의 전류제어가 독립적이어서 두 상의 전류중첩이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 고전압, 대용량에 적합하며 스위치의 정격전압이 상대적으로 낮다. 단점으로는 상당 스위치 수가 두 개라는 점과 그에 따르는 제어 및 드라이버 회로의 증가, 위쪽(upper level) 스위치의 드라이브가 각각 절연되어야 하는 등의 번거로움이 있다.

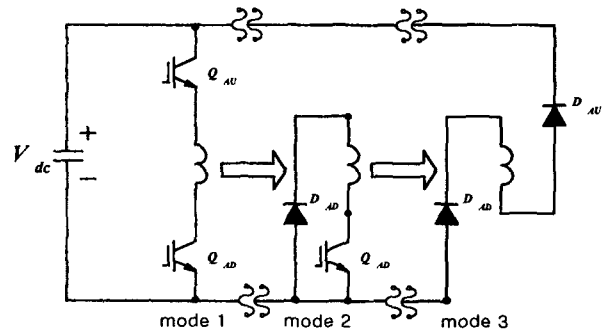


그림 11 3단계 동작모드

Fig. 11 3 modes

그림 11은 비대칭 브릿지 컨버터의 여자모드, 유휴모드, 감자모드의 3단계 동작모드를 보여준다.

모드 I은 여자모드로서 두 스위치를 모두 턴 온 시켜 DC 전원 전압(Vdc)을 권선에 인가하여 전류를 흐르게 한다. 모드 II는 유휴모드로 권선에 전류가 흐르고 있을 때 제어방식에 따라 한 개 또는 두 스위치를 턴 오프하여 전류가 한 개의 다이오드와 스위치 및 권선을 순환하게 하거나, 권선전류가 두 다이오드를 통해서 전원측으로 에너지를 환원시키는 방법으로 전류가 감소되도록 한다. 마지막으로 모드III는 감자모드로 두 스위치를 동시에 턴 오프하여 전류(commutation)시키게 되는데, 해당 상의 인덕턴스가 음의 기울기(negative slope)를 가지기 전에 전류를 완전히 소멸시키거나 아주 적은 양이 되도록 동작한다.

4.3. 제어부

제어기는 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^[4].

그림 12는 제작된 제어기를 보여주고 있다. 엔코더 신호는 TLP181을 통하여 제어부와 센서부를 절연처리 하였고, 제어 시스템의 전원은 플라이백 회로로, SMPS를 제어 시스템 내에 원보드 장착 하였다. 과전류 보호를 위해 과전류를 저항으로 검출하여 차동증폭기를 통하여 인버터 신호를 차단하는 알고리즘을 적용하였다.

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

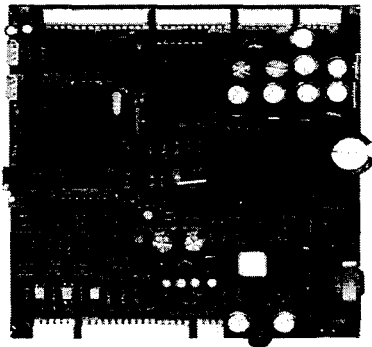


그림 12 제작된 제어기
Fig. 12 Controller for SRM drive

속도제어는 PI 제어기로 구성되어 PWM 방식의 전압 제어 기법을 사용하였다. 그림 14에서 보는 바와 같이 SRM의 상전류가 10비트의 AD 컨버터를 통하여 입력되고, 센서의 신호는 16 비트의 CAP3 핀으로 입력되어 펄스와 펄스사이의 간격을 속도정보로 이용하였다.

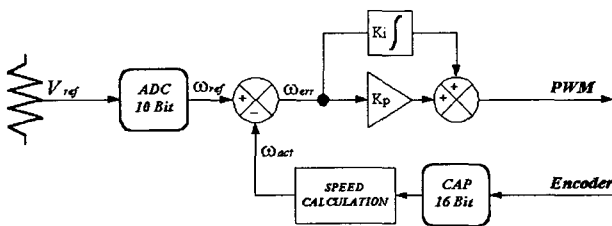


그림 13 속도제어기의 구성
Fig. 13 Speed controller

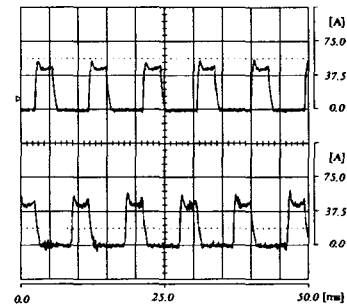
5. 실험결과 및 고찰

앞서 시뮬레이션된 결과를 이용하여 제작된 시작기와 인버터, 제어기로 실험 시스템을 구성하여 실험을 하여 다음과 같은 전류 파형을 볼 수 있었다.

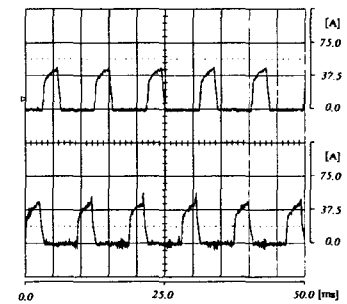
그림 14는 서로 다른 턴온각에 대한 상전류의 파형을 보여준다. 그림에서 턴 오프각은 42°로 고정하였고 턴 온각은 그림 14(a)는 24.8°, 그림 14(b)는 27.27°, 그리고 그림 14(c)를 29.38°로 가변시 800[rpm]에서의 온각에 따른 전류파형을 보여준다. 여기서 (a)는 부족여자, (b)는 적정여자, 그리고 (c)는 과여자 운전조건을 보여준다.



(a) Turn-on angle = 24.8°



(b) Turn-on angle = 27.27°



(c) Turn-on angle = 29.38°

그림 14 턴온각에 따른 전류파형
Fig. 14 Current waveforms according to turn-on angle

그림 15는 제작된 EPS용 SRM 전동기의 속도-토크 특성 곡선을 보여준다. 그래프로부터 EPS 시스템의 요구 성능을 만족함을 알 수 있었다. 하지만 전동기의 효율이 50[%] 이하로 현저히 낮아 앞으로 효율을 개선하기 위한 연구가 계속되어야 할 것이다.

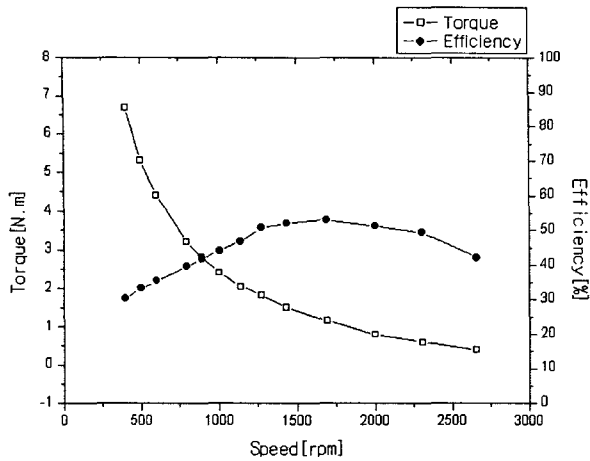


그림 15 시작기의 속도-토크-효율 특성 곡선
 Fig. 15 Speed-torque-efficiency characteristics of proto-type motor

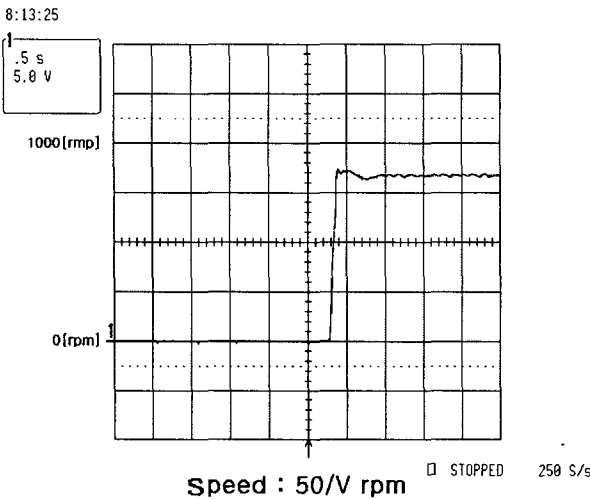


그림 16 속도 응답특성(800rpm)
 Fig. 16 Speed response(800rpm)

그림 16은 설계된 제어기에 의한 EPS용 SRM의 속도응답 특성을 보여주는 실험파형이다. 파형의 측정은 500[rpm]/10V의 출력을 발생시키는 타코 제너레이터를 사용하였으며, 측정시 지령속도는 800[rpm]이다. 파형에서 볼 수 있듯이 지령속도에 대해 속도 제어기의 속도응답이 0.2초 이내로 빠름을 알 수 있다.

6. 결 론

SRM은 최근 반도체 소자의 발전과 메카트로닉스 기술이 발전함에 따라 선진국을 중심으로 산업전반에 걸쳐 그 응용 영역을 확대해 가고 있는 전동기이다.

본 연구는 EPS용 SRM을 기존의 시스템의 영향을 주지 않고 SRM으로의 대체를 위해서 제한된 설계 치수 이내에서 전동기를 설계·제작하였다. 그리고 자계해석 프로그램을 사용하여 시뮬레이션으로 부터 토크를 해석하고 요구조건을 만족함을 확인하였다. 또한 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

그러나 설계 치수의 제약과 랙마운트 시스템의 특징으로 인해 전동기 중공축의 공간 확보가 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 운전 효율을 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 그 활용도를 입증하였다.

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™ Redefines Steering Technology", Automotive Engineering, Automotive Systems Review of Technical Achievements, pp. 15-18, SAE International Magazine, September, 1997.
- [3] 안진우, 스위치드 릴럭턴스 전동기, 오성미디어, 2001.
- [4] Texas Instruments "TMS320F243/F241/C242 DSP Controllers Reference Guide-System and Peripherals", January, 2000
- [5] J. W. Ahn, H. Chen, "Single-Chip Microprocessor Control for Switched Reluctance Motor-Driver" KIEE International Tr. on EMECS, Vol. 12B No.4 pp 207~213, 2002.12

저 자 소 개



안진우 (安珍雨)

1958년생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1998~1999 미국 UW-Madison 방문교수, 1992년~현재 경성대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 교수.

Tel : 051-620-4779, Fax : 051-624-5980
E-mail : jwahn@ks.ac.kr



손익진 (孫益鎭)

1975년생. 2001년 경성대 전기전자컴퓨터 공학부 졸업. 2001년~동 대학원 석사과정.

Tel : 051-620-4779, Fax : 051-624-5980
E-mail : ijson@star.ks.ac.kr



이동희 (李東熙)

1970년생. 1996년 부산대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~ 경성대 Post Doc.