

# EPS용 SRM의 설계 및 특성 해석

손익진, 허윤\*, 안진우  
경성대, 대우정밀\*

## Design and Characteristics of SRM for EPS Application

Ick-jin Sohn, Yoon Hur\*, Jin-Woo Ahn  
Kyungseong Univ., Daewoo Precision\*

**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 is SRM 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. 따라서 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 환경 친화적이고 경제적으로 유리한, 전동기를 이용한 EPS가 확산되어 가는 추세이다. 이에 EPS용 SRM 전동기를 기존의 허용치수 이내에서의 필요한 토크와 속도를 감안하여 설계하고, 자체해석과 시뮬레이션을 통해 특성을 해석하여 EPS 시스템의 SRM의 적용 및 효율성을 확인하고자한다.

### 2. SRM의 설계

본 연구에 적용된 SRM의 설계 규격 및 재원은 그림1과 같다.

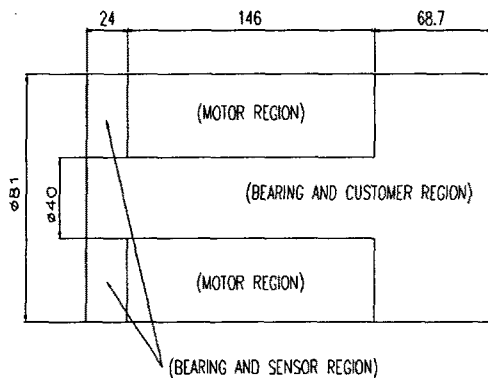


그림 1. SRM 설계 규격  
Fig 1. Design size of SRM

MOTOR 부의 직경은 29.7 [mm]의 중공을 가지고 91 [mm] 이하가 되어야 한다. 또한 전체 길이는 146 [mm] 이하이어야 한다.

SENSOR 부의 직경도 마찬가지로 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 위해 필요하다.

전동기의 정격전압은 12[VDC]이며 요구 성능은 그림2와 같다.

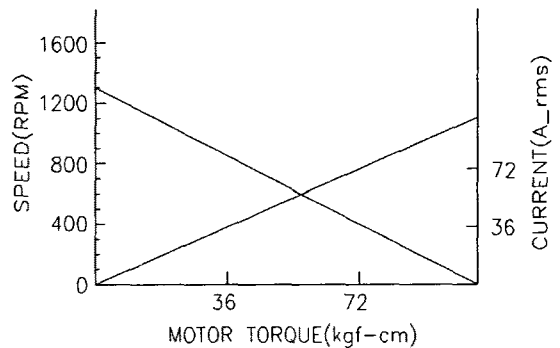


그림 2. 전동기의 요구 성능  
Fig 2. Request Performance of SRM

출력 및 코깅 토크 등을 고려하여 12/8극 SRM을 선정하여 치수를 설계하였고, 설계결과는 그림 3과 표 1에서 보여진다.

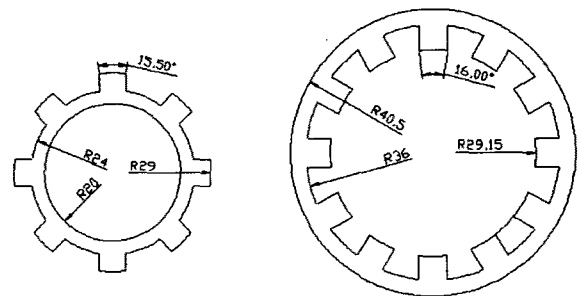


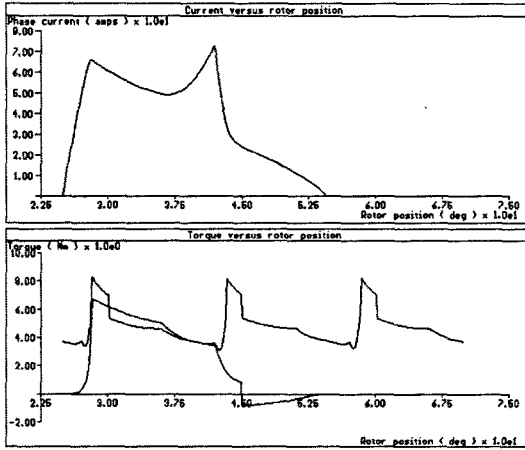
그림 3. 전동기의 설계 치수 및 구조  
Fig 3. Design dimension and prototype SRM

1차 선정된 전동기의 설계재원은 표 1과 같다. 전동기의 가공과 제작을 고려하여 최종치수를 정하였다.

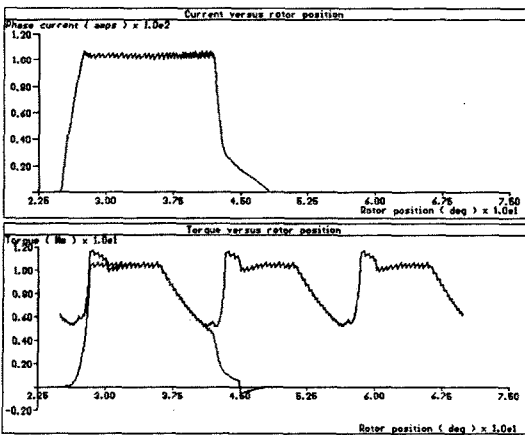
표 1. 전동기의 재원

Table 1. Specification of the prototype SRM

정격전압	12[V]	출력	320[W]
기준전류	36[A]/850rpm 72[A]/400rpm	요구 토오크	3.6[Nm]/850rpm 7.2[Nm]/400rpm
기준속도	400[rpm] 850[rpm]	상당 권선수	6[turn]
전동기길이	105[mm]	공극	0.2[mm]



(a) 850 rpm



(b) 400 rpm

그림 4. 전류 및 토오크 파형

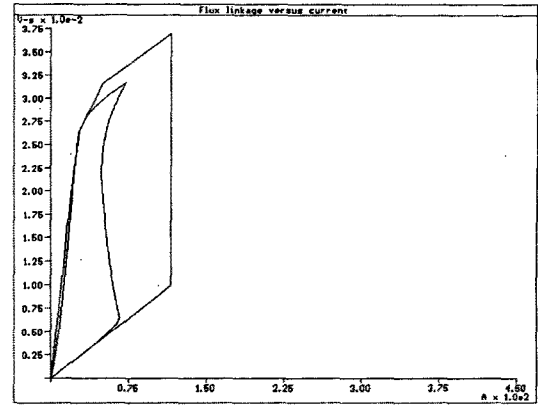
(a) 850 rpm      (b) 400 rpm

Fig 4. Current and torque

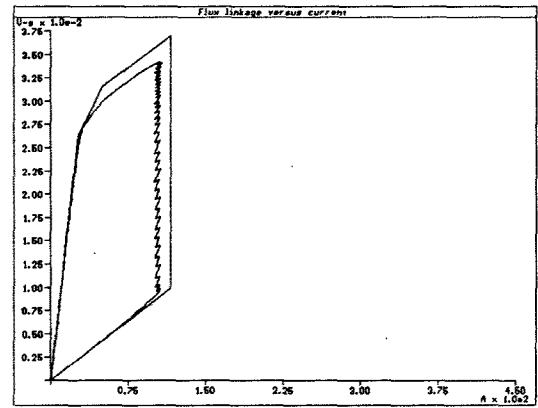
(a) 850 rpm      (b) 400 rpm

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

그림 5의 전류-자속 곡선은 자속의 포화도를 나타낸다.



(a) 850 rpm



(b) 400 rpm

그림 5. 전류-자속 곡선

Fig 5. Current-flux

### 3. 성능 평가를 위한 시뮬레이션

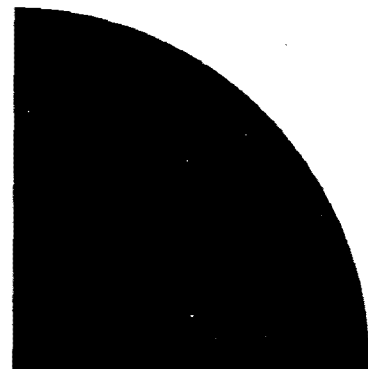


그림 6. FEM 해석을 위한 mesh

Fig 6. Mesh for FEM analysis

EPS용 SRM의 자기회로 해석을 위해 FEM 해석을 하였다. FEM 해석은 FLUX2d 및 PC-OPERA 프로그램을 이용하였다. 그림 6은 12/8 SRM의 해석을 위해 1/4 부분으로 mesh를 나눈 모양을 보여주고 있다.

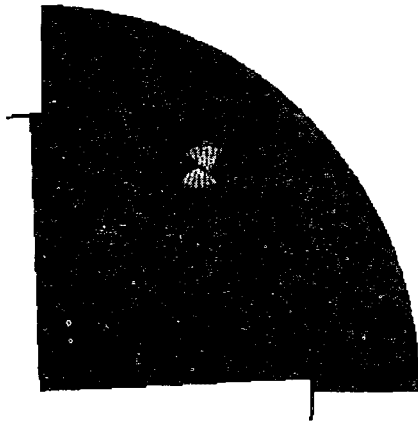


그림 7. 자속 분포와 자기력선 방향  
Fig 7. Flux distribution and magnetic force direction

그림 6은 FEM 해석을 통한 자속분포와 자력선 방향을 보여주고 있다. 고정자와 회전자 의 요크나 극 부분의 포화는 정상적이지만 극이 만나는 곳에서의 국부적인 포화가 심하여 자속밀도를 제한하고 있다.

그림 8, 9, 10은 800rpm에서의 전류, 토크, 자속밀도 등을 보여주고 있다. 이때 스위치 온각은 4° 이고 오프각은 11° 이다.

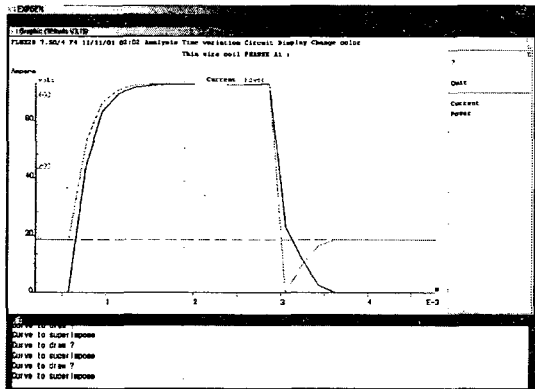


그림 8. 전압과 전류  
Fig 8. Voltage and current

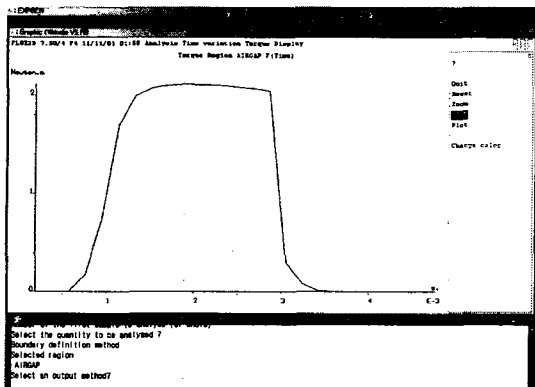
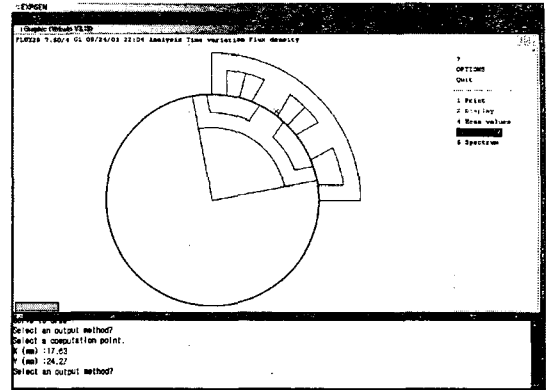


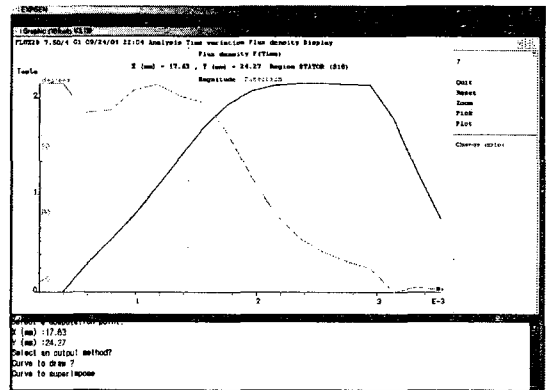
그림 9. 공극에서의 토크  
Fig 9. Torque of gap

그림 8은 한 상의 인가되는 전압과 상전류를 보여 주고

있다. 그림 9는 공극에서 발생하는 발생 토크를 보여주고 있다. 그림 10은 (a)의 X 위치에서의 자속밀도를 보여주고 있다. 이 위치는 그림 10(b)에서 보는 바와 같이 자속포화가 가장 심한 곳을 알 수 있다.



(a) 자속밀도 측정 지점(X)



(b) 자속밀도

그림 10. 자극에서의 자속밀도  
(a) 자속밀도 측정 지점(X) (b) 자속밀도

Fig 10. Flux density at magnetic pole  
(a) Flux density measurement point (x) (b) Flux density

그림 11~13은 속도 400rpm에서의 스위치 온각 3° 오프각 12°에서의 상전류, 토크, 자속밀도 등을 보여주고 있다.

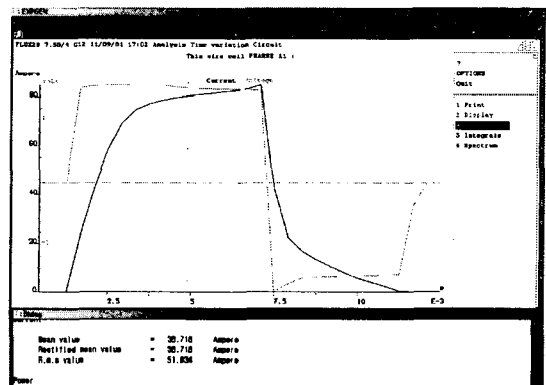


그림 11. 전압과 전류  
Fig 11. Voltage and current

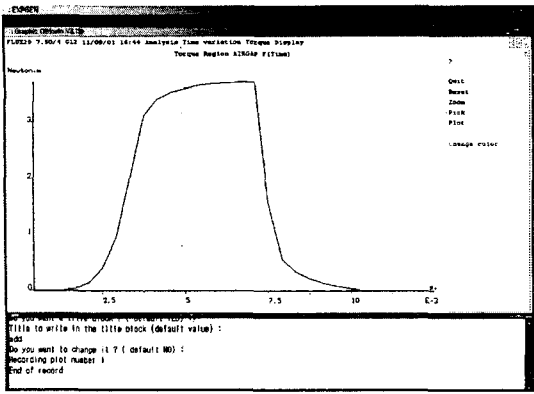
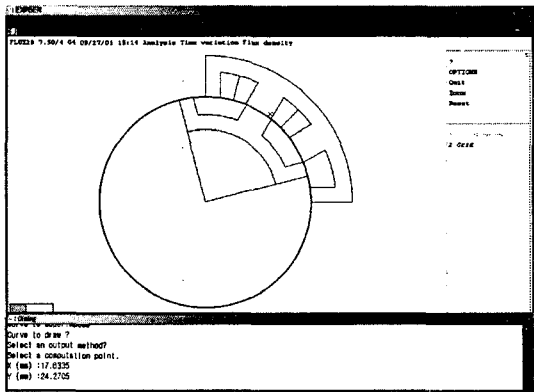
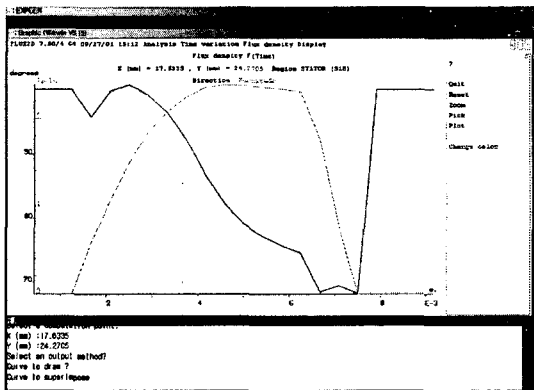


그림 12. 공극에서의 발생토크  
Fig 12. Torque of gap



(a) 자속밀도 측정 지점(x)



(b) 자속밀도

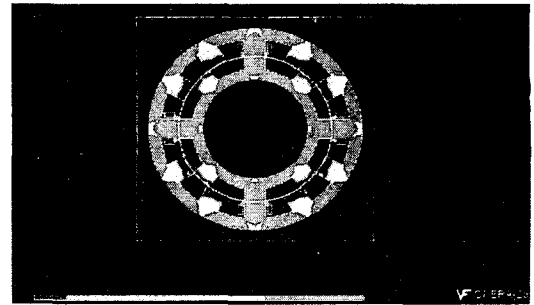
그림 13. 자극에서의 자속밀도  
(a) 자속밀도 측정 지점(x) (b) 자속밀도

Fig 10. Flux density at magnetic pole  
(a) Flux density measurement point (x) (b) Flux density

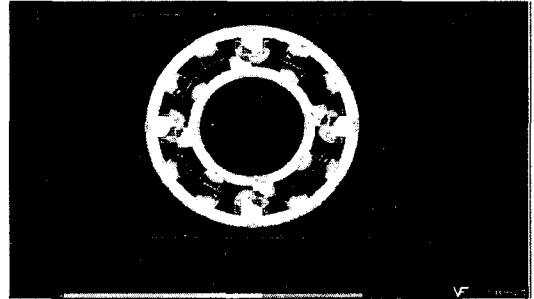
이상의 FEM 시뮬레이션 결과에 따르면 먼저, 850 rpm에서의 전류는 평균 34[A] 정도로 요구조건을 만족한다. 그림 9에서 보는 바와 같이는 평균토크는 3.6[Nm]로서 적절한 스위칭각의 조정으로 요구조건을 만족한다.

400[rpm]에서의 경우도 평균토크는 8.6[Nm]이고, 평균전류는 61[A]로 요구조건을 만족한다.

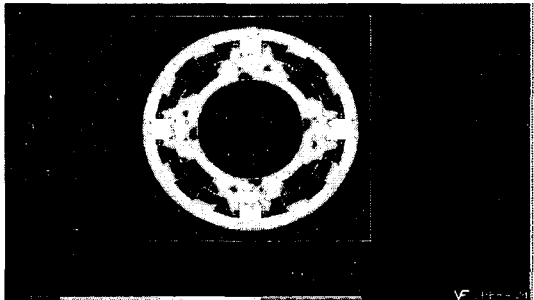
한편 PC-opera에 의한 자속 밀도 및 토크 계산에서도 시뮬레이션과 비슷한 결과를 보인다. 그림 14는 전류를 72[A]를 흘리면서 회전자를 10° 씩 움직일 때의 자속을, 그림 15는 토크계산결과를 보여준다.



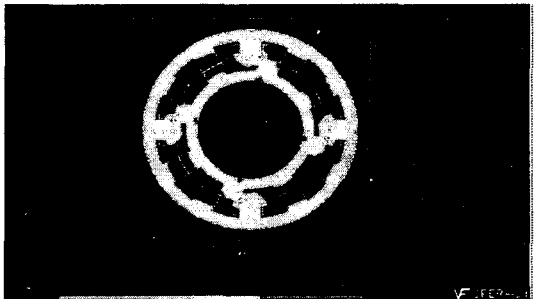
(a) 0°



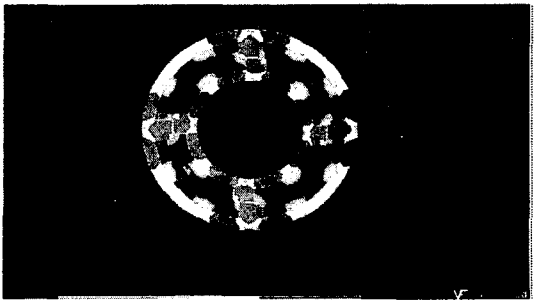
(b) 10°



(c) 20°



(d) 30°



(e) 40°

그림 14. 회전자 변위에 따른 자속밀도(상전류 72[A])  
(a) 0° (b) 10° (c) 20° (d) 30° (e) 40°

Fig 14. Flux density according to rotor displacement(72[A])  
(a) 0° (b) 10° (c) 20° (d) 30° (e) 40°

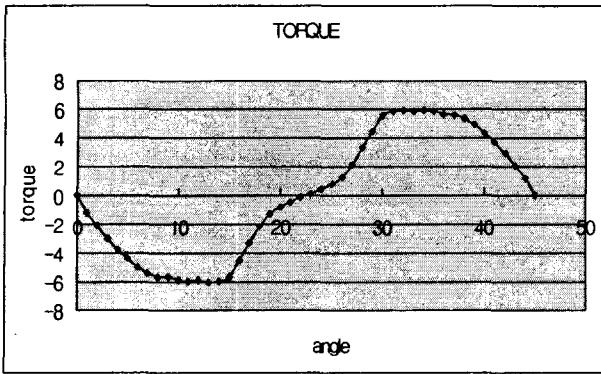


그림 15. 회전자 변위에 따른 토오크(상전류 72[A])  
 Fig 15. Torque rotor displacement(72[A])

#### 4. 검토 및 결론

본 시뮬레이션으로 부터 400[rpm]에서의 토오크는 그림 12의 flux2D해석에서 요구조건을 만족함을 알 수 있다. 그러나 그림 7에서 보듯이 포화가 가장 심한 곳은 자극이 만나는 곳으로, 이곳에서는 포화로 인하여 전체의 자속밀도가 억제되고 있다. 그림 6과 7에서 보듯이 자극이 만나는 곳의 자속밀도가 높아 더 이상의 자속 증가가 이루어지지 않아 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 것으로 사료된다. 본 시뮬레이션에서 사용한 철심은 상용 전동기에서 많이 사용되는 S24 등급이다. 따라서 S18 등급 혹은 그 이상의 투자율이 좋은 재질의 철심의 사용을 검토하거나 치수제한을 조정한다면 요구 토오크를 충족시킬 수 있을 것이다.

#### [ 참고 문헌 ]

- [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