

펌프용 SRM의 Sensorless 구동방식에 관한 연구

손동혁\*, 문지우\*, 조윤현\*  
\*동아대학교 전기공학과

A study on the Sensorless driving method of the SRM for Pumping system

DongHyeok Son, Ji-Woo Moon, Yun-Hyun Cho  
Dong-A University electrical engineering

**Abstract** - In recent years, the switched reluctance motor have been used many industrial application because of its cost advantage. SRM drivers are accomplished by switching the phase currents on and off synchronously with the rotor position which is fed back to the controller by position may deteriorate in harsh environments and increase the size and cost of the SRM drive system. This paper proposes a position sensorless method that is based on impressed pulse voltage using impressed at unenergised phases to estimate the rotor position. The current value by impressed pulse voltage compare with the threshold value. The rotor position can be estimated by observing the current value. Finally, simulation results compare with the sensor type SRM and confirm the proposed method to be useful.

1. 서 론

SRM은 회전자의 위치에 따른 스위칭 여자를 실시하므로 회전자 위치정보를 검출하기 위한 검출센서가 필수적이라 할 수 있다. 위치 검출 센서는 전동기의 가격 및 크기를 증가 시키고, 전동기 구조를 복잡하게 할 뿐만 아니라 주변 온도나 습도 등 작동 환경에 제한을 받는다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 위치 검출 센서 없이 SRM을 운전할 수 있는 센서리스 구동방법을 연구하고자 한다.

일반적인 SRM의 센서리스 구동을 위한 방법으로는 회전자의 위치에 따른 인덕턴스 프로파일을 LOOK-UP 테이블로 구성하여 전류변화에 따른 인덕턴스를 유도하고, 이를 바탕으로 회전자의 위치를 검출한다. 이 때 인덕턴스 프로파일은 비선형적으로 변화하게 되고 이를 처리하기 위해서는 고성능의 마이크로프로세서가 필요하게 된다[1].

본 논문에서는 비 여자상에 펄스 신호를 이용하여 회전자의 위치를 검출하는 방식을 이용하였다. 회전자의 위치에 의한 펄스 신호의 threshold value를 측정하고 실제 구동시 펄스 신호에 따른 전류의 크기와 threshold value와 비교하여 회전자의 절대 위치를 파악하는 방식이다. 이 방식의 경우 별도의 인덕턴스 프로파일의 LOOK-UP 테이블이 필요 없으므로 알고리즘 구현이 단순하다는 장점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 SRM에서는 회전자 위치 센서를 없애고 비 여자상의 펄스 신호의 크기에 따른 센서리스 구동방식을 이론적으로 검토하고 시뮬레이션을 통하여 타당성을 입증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 펌프의 토크 특성

2.1.1 회전이 제한된 유압전동기

연속회전 유압전동기는 전동기의 입력유량에 의해 결정되는 분당회전수로 연속적으로 회전할 수 있다. 마찰 손실로 인하여 유압전동기는 이론적으로 전달할 수 있는 토크보다 적은 토크만을 전달하게 된다. 유압유는 움직이는 베인을 회전시키면서 베인의 한쪽 방향으로 흐른다.[2]

베인에 작용하는 힘은 압력과 베인 면적의 곱과 같다.

$$F = pA = p(R_V - R_R)L$$

F는 베인에 작용하는 유압 힘, p는 압력, A는 오일과 접촉하는 베인의 면적,  $R_V$ 는 회전자의 반지름,  $R_R$ 는 베인의 바깥 반지름이다. 토크는 베인에 작용하는 힘과 평균 반지름의 곱과 같다.

$$T = p(R_V - R_R)L \frac{R_V + R_R}{2}$$

여기서 L은 베인의 폭이다. 배제용적  $V_D$ 에 관한 다음 식을 대입하면, 토크에 관한 두 번째 식을 얻을 수 있다.

$$V_D = \pi(R_V^2 - R_R^2)L$$

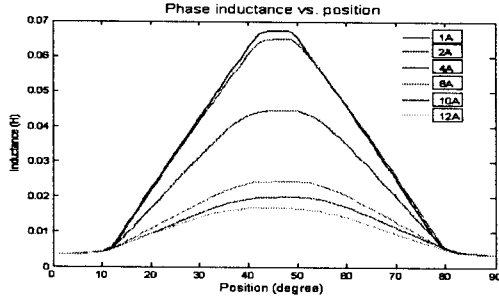
$$T = \frac{pV_D}{2\pi}$$

토크는 압력, 배제용적에 비례한다. 펌프의 토출량과 구동용 전동기 속도와의 관계는 다음과 같다.

$$Q_T = V_D \cdot N$$

여기서  $Q_T$ 는 유압 펌프 토출량, N은 유압펌프 구동용 전동기 회전속도이다. 따라서 유압펌프의 토출량은 손실을 무시하면 구동용 전동기 속도에 비례하므로 속도 제어에 의해 유량 제어가 가능하다. 펌프가 정지 상태에서 정상회전수에 도달할 때까지의 펌프의 소요 토크는 회전수의 제곱에 비례하여 증가하게 된다. 하지만 정지상태에서부터 기동시 베어링, 패킹등의 약간 큰 값을 가지며 그 값은 정상적인 토크의 약 10%~30% 정도이다. 축동력 곡선의 형상은 펌프의 형식, 비속도에 의해 달라지므로 기동 방법도 이러한 특성을 고려하여 실시하여야 한다.[3]

## 2.2 인덕턴스 최소값을 이용한 센서리스 제어



SRM은 각 상의 권선에 순차적으로 전원을 인가하기 때문에 비 여자상이 존재한다. 따라서 비 여자상에 펄스 신호를 인가하고, 인덕턴스 변화에 따른 전류를 측정한다. 이를 위해서는 폭이 매우 좁은 펄스 신호를 인가하고 그 때의 상전류를 검출하게 되면 매우 적은 전류에 의해 저항의 전압강하 및 역기전력 성분은 무시될 수 있다. 전류센서로 비 여자상의 전류를 검출하여 전압의 형태로 출력하게 된다 전압은 인덕턴스 변화에 따라 비례적으로 변화하게 된다. 만약 회전자가 정렬위치에서 비정렬 위치로 회전하게 되면 비 여자상의 인덕턴스는 최대 인덕턴스에서 최소 인덕턴스로 감소하게 된다. 이 때 펄스 신호에 의한 비 여자상의 전류는 최대값이 된다. 비 여자상의 전류는 threshold value와 비교되어지고 비 여자상의 전류가 threshold value보다 높게 되면 회전자의 절대 위치를 검출하여 상의 여자를 실시한다. 여기서 사용되어지는 threshold value는 센서 부착형 SRM에 펄스 신호를 추가하여 속도제어를 실시하고, 상의 여자가 일어나는 구간에서 펄스 신호에 의한 비 여자상의 전류를 검출한 값으로써 속도 및 전류, 토크에 상관없이 일정한 값을 가짐을 확인하기 위하여 속도 및 부하를 변동하여 시뮬레이션을 실시하여 측정된 값이다. 6/4 SRM의 A, B, C상의 인덕턴스 변화와 펄스 신호, 펄스 신호에 따른 threshold value를 보여준다.

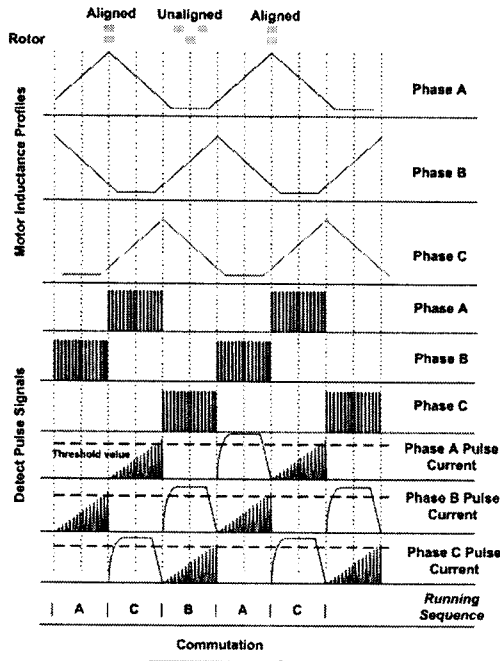


그림 2 인덕턴스 변화에 따른 임펄스 및 전류 신호

## 2.3 SRM 시뮬레이션

표 2. SRM 파라미터

Parameter	Value
고정자/회전자 극수	6/4
고정자 외경	150 [mm]
고정자 극호	30°
회전자 극호	30°
고정자 극 높이	22.6 [mm]
회전자 극 높이	18.3 [mm]
공극	0.32 [mm]
상당 권선수	100 turn
도체 직경	1.3 [mm]
최소 인덕턴스	8.2 [mH]
최대 인덕턴스	79.5 [mH]
상저항	0.5 [ohm]
관성 모멘트	1.049e-3 [kg · m <sup>2</sup> ]
점성계수	0.005 [N · m · s]

### 2.3.1 센서부착형 SRM 시뮬레이션

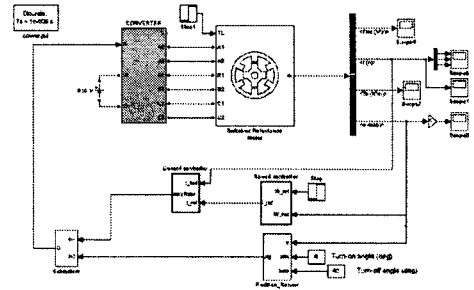


그림 3. SRM matlab/Simulink

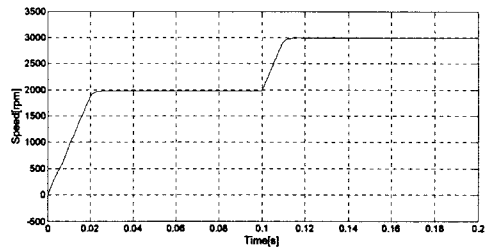


그림 4. 센서부착형SRM의 속도 응답특성

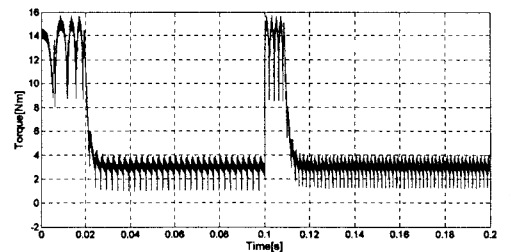


그림 5 센서부착형 SRM의 토크특성

시뮬레이션은 정지상태에서 2000[rpm]의 지령후 0.1

[s] 뒤 3000[rpm]으로 속도지령시의 속도 응답특성을 나타낸다. 속도는 최초 지령 2000[rpm]에 약 0.02[s] 후 도달하며, 3000[rpm]으로는 약 0.01[s] 후 도달함을 확인할 수 있다. 속도 지령에 따른 전류응답 특성을 보여주고 있다.

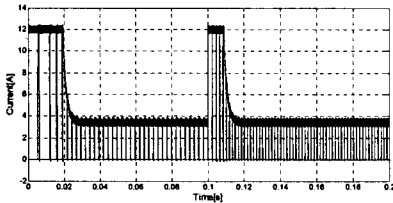


그림 6. 속도지령에 따른 전류파형

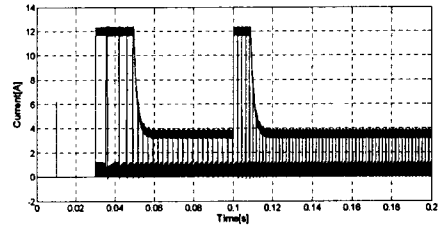


그림 10. 속도지령에 따른 전류파형

### 2.3.2 센서리스 SRM

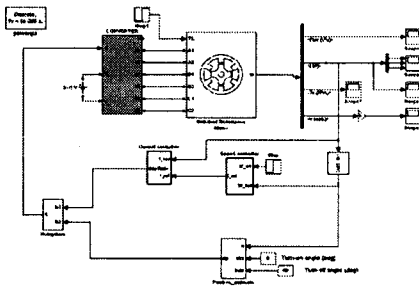


그림 7. Sensorless SRM Matlab/Simulink Model

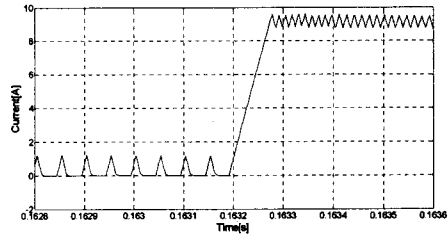


그림 11. 상 전환 시의 전류 파형

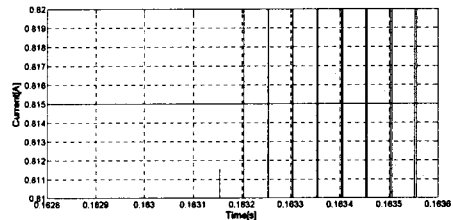


그림 12. 임펄스신호에 의한 비 여자상의 전류파형

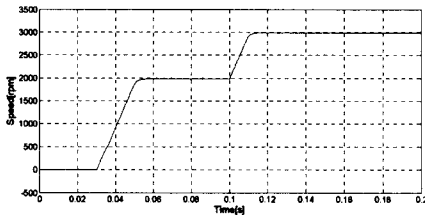


그림 8. 센서리스SRM의 속도응답특성

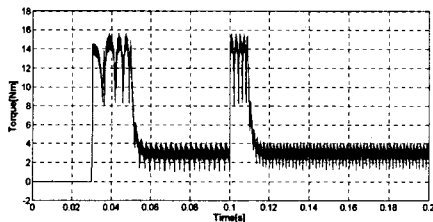


그림 9. 센서리스 SRM의 토크특성

센서리스 구동을 위한 회전자의 위치 검출을 위한 threshold value는 센서 부착형 SRM의 시뮬레이션 모델에서 임펄스 신호를 추가하여 threshold value를 측정하였다. Threshold value는 Advance angle을 고려하여 상 전환이 이루어지는 값을 측정하였다. 그림 11은 상전환시의 threshold value의 시뮬레이션 결과를 보여준다. Threshold value는 속도 및 부하, 전류에 상관없이 0.81 ~ 0.82[A]에서 상의 전환이 이루어짐을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 센서리스 SRM 구동시 0.815[A]를 threshold value로 사용하였다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 일정한 크기의 펄스 신호를 비 여자상에 발생시켜 인덕턴스 변화에 따른 전류의 크기를 검출하여 회전자의 절대 위치를 검출하는 방법을 제시하였다. 비 여자상에 펄스 신호를 인가하여 전류를 측정하고 threshold value와 비교하여 회전자의 절대 위치를 검출하였다. 이 방법은 다른 센서리스 SRM 구동방식보다 간단할 뿐만 아니라 검출속도도 다른 센서리스 제어 방법보다 빠르게 처리할 수 있으며, 인덕턴스를 구하기 위한 별도의 LOOK-UP 테이블이 필요없어 연산이 간단하다는 장점을 가진다. 본 논문에서 제안된 센서리스 제어 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해서 센서 부착형 SRM 전동기와 센서리스 SRM 전동기에 대하여 각각 속도제어 시뮬레이션을 실시하고 결과를 비교 분석하여 그 타당성을 입증하였으며 향후 센서리스 SRM 전동기의 속도제어 실험을 실시하여 타당성을 비교 분석하겠다.

본 연구는 산업자원부의 지역혁신인력양성사업 주관으로 수행된 연구결과임.

### [참 고 문 헌]

- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어(2001)
- [2] Anthony Esposito, "Fluid Power with Application", SciTech(2004)
- [3] 전인식, 조광욱, 이교진, 조철환, "팜프의 이론과 실제", (주)건설연구소(2004)