

DSP를 이용한 2.2kw 펌프 SRM 속도제어

손 동 혁*, 이 건*, 차 준 호*, 조 윤 현*
*동아대학교

The Speed control of SRM using DSP

DongHyeok Son*, Jian Li*, JunHo Cha*, YunHyun Cho*
*Dong-A University

Abstract - Switched Reluctance Motor has advantages such as simple structure, low cost and so on compared with induction motor. Efficiency is higher than induction motor, so there is beneficial cost. Also torque character has essential character of superiority step motor and a DC motor character that depends on variable speed. This paper presented the research of speed and current control system of SRM using the DSP. At first, a simulation model on Matlab/simulink was performed. SRM speed control algorithm investigated the control method. Then driver and control system developed to do experiment.

1. 서 론

전동기는 모든 산업기기의 핵심 구동원으로서 산업의 발달에 따라 그 수요가 날로 확대되고 있다. 최근 고효율의 전동기 요구와 제조원가의 경쟁력 확보를 위하여 새로운 전동기의 요구가 증대되고 있다. 이 중 가장 큰 시장을 확보하고 있는 펌프에서는 현재 유도전동기가 약 95% 이상을 차지하고 있다.

SRM은 자기적 구조뿐만 아니라 제작 공정이 유도전동기보다 간단하므로 제작비가 절감된다. 또한 효율면에서는 유도전동기 대비 5%~10% 나타난다.[1] 고효율 특성으로 회전속도의 제곱 또는 세제곱에 비례하는 부하토크의 요구에 부합할 수 있다.[2]

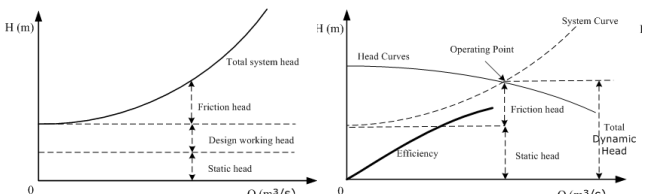
본 논문에서는 펌프의 소형화와 생산비 절감, 고효율을 위한 전동기로 DSP를 이용한 2.2 kW, 3600rpm의 SRM 전동기 제어 방법을 제안한다. 먼저 Matlab/Simulink를 이용한 SRM의 동특성을 해석하고 이때의 속도 응답 특성을 구하였다. DSP는 확장성이 용이하기 때문에 고가의 프로세서이지만 특수 목적의 펌프를 실현하기에 알맞은 프로세서기에 택하였다. 본 논문에서 DSP chip은 TMS320F2407을 사용하여 펌프용 전동기의 정속도 운전을 구현하였다. 마지막으로 시제품 제작을 통한 특성 시험을 수행하였으며 시뮬레이션 결과와 실험 파형을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 펌프의 기본 특성

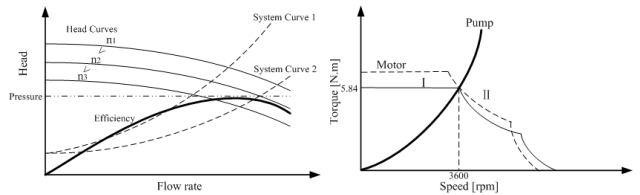
펌프를 운전하는데 필요한 기계적 동력은 유량과 전압정도로 알 수 있다.

$$P(W) = H(m) \times Q(kg/s) \times 9.81(m/s^2) \times \frac{1}{\eta} \quad (1)$$



(a) Pump's System Curve (b) Operating point of pump
〈그림 1〉 펌프의 특성 곡선

〈그림 1〉은 펌프의 동작점을 나타낸다. 물의 표면과 펌프의 입구까지의 거리(Static Head)와 액체가 배관 내를 흐를 때 생기는 마찰 저항을(Friction Head) 합쳐 Sytem curve라 한다. 펌프는 Head curve와 System curve가 만나는 지점이 펌프의 최소 손실이 나타나는 곳이다.



(a) 속도에 따른 펌프의 동특성 (b) 전동기와 펌프의 동작점
〈그림 2〉

〈그림 2〉의 (a)는 속도를 변화시켜 나타난 Head curve와 Pipe 밸브를 움직여 나타나는 System curve의 변화에 상관없이 효율은 일정한 곡선으로 나타난다. Affinity law에 의해 속도와 유량, 압력, 전력 관계를 얻을 수 있다.[3]

$$\begin{aligned} Q &\propto N \\ H &\propto N^2 \\ P &\propto N^3 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)를 통해 속도의 변화에 따라 H, Q, P는 급격히 변동하므로 펌프용 전동기는 일정한 부하에 대해 정속도 운전을 해야 한다.

〈그림 2〉의 (b)는 SRM의 토크제한 영역과 펌프의 동작곡선이 일치하는 점을 정격용량으로 정하였다. 이 교차점에서 SRM의 회전속도가 3600rpm이고 발생토크가 5.84[N·m]이다.

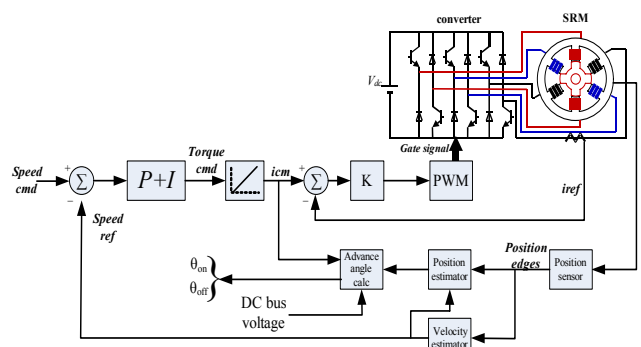
2.2 스위칭 각의 선정

Soft 스위칭 방식을 채택하여 인덕턴스 상승 구간에 맞춰 전류를 인가하여 토크를 발생시키는 동작파형을 나타낸다. 저속에서는 인덕턴스 상승구간과 전류인가 위치가 일치하나 고속에서는 인덕턴스가 상승하기 전에 상에 전류를 인가하는 Advanced angle을 선정해야 한다. 인덕턴스가 하강되는 점에서는 잔류 전류가 없어야 한다.[4]

Turn-on 각이 늦어지게 되면 역기전력이 발생되어 지령전류를 얻을 수가 없다. 또 앞서게 되면 도통구간이 확장되어 토크의 적절한 분배가 이루어지지 않아 동손이 증가하게 되어서 모터의 효율이 감소한다.

Turn-off각은 최대 쇄교 자속의 1/2값이 인접한 두상들의 쇄교자속과 같아지는 회전자 위치가 되도록 한다.[5]

2.2.1 SRM Block Diagram

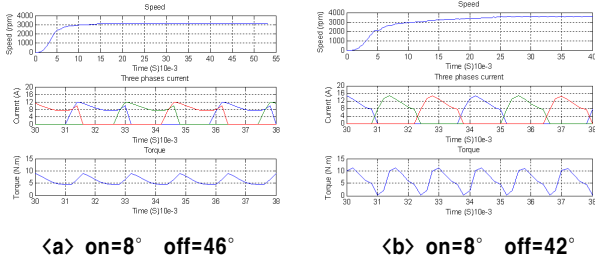


〈그림 3〉 SRM 제어기의 Block diagram

속도의 지령치를 외부 키로 입력하고 DSP의 Capture unit으로 opto-coupler 값을 읽어 속도를 측정한다. 속도 요구치와 측정된 속도를 비교하여 오차를 보상한다.

PI 제어 알고리즘을 이용하여 정상상태 오차와 응답 속도를 보상한다. 속도를 상승시키기 위해 필요한 토크를 계산하고 commutation 하기 위한 PWM 듀티비를 산정한다. 속도 측정은 SRM 피드백으로 opto coupler의 edge를 얻어 위치 값을 얻으며 edge와 edge 사이의 시간차로 SRM의 속도를 계산한다. 회전자 위치와 속도, commutation, DC bus voltage의 값으로 advance angle을 계산하고 turn-on, turn-off 한다.

2.3 SRM의 시뮬레이션 및 실험 결과

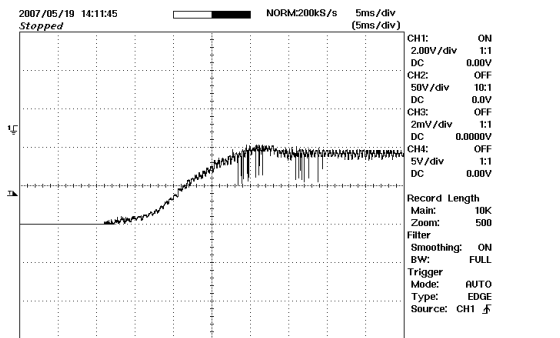


<a> on=8° off=46°

 on=8° off=42°

<c> on=4° off=38°

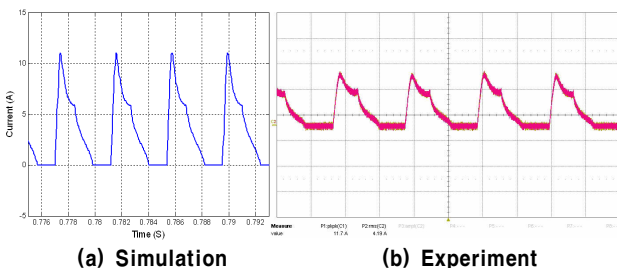
<그림 4> Advanced angle 변화에 따른 Simulation 파형



<그림 5> 속도응답 특성 파형

<그림 4>는 Advanced angle의 변화를 주어서 나타나는 전류와 토크의 변화를 시뮬레이션 결과이다. <그림 4>의 (a)가 속도응답과 전류, 토크특성이 가장 안정적으로 나타났다. 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 최적의 Advance angle을 Turn-on 각은 8°, Turn-off 각을 46°로 정하였다. 정격속도 지령치를 3600rpm으로 하였다. PI제어기를 사용하여 정상상태 오차를 보상하고 응답속도를 개선하였다.

<그림 5>은 DAQ를 이용한 속도 측정파형이다. 약간의 오버슈트가 발생하였으나 이내 오차를 보상하고 정상속도로 운전한다.



(a) Simulation

(b) Experiment

<그림 6> 1상에 대한 전류 파형

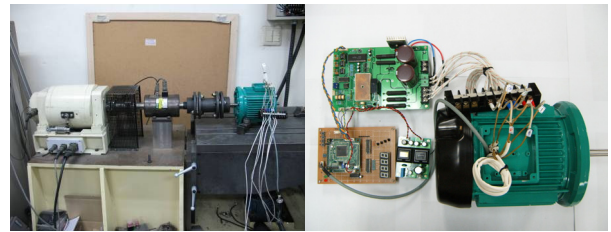
<그림 6>의 (a)는 전동기의 시뮬레이션 전류파형이고 (b)는 실험으로 얻은 전류파형이다. 발생토크가 부하토크보다 작으면 순시적으로 회전자는 감속하게 된다. 이에 스위치 오프 신호를 시간적으로 늦춰 발생토크가 증가한 부하토크에 대응하는 전류파형이다.[6] 4N·m인 부하로 측정된 실험 상전류rms 값은 4.19A이고 상전류의 피크값은 11.7A이다.

3. 결 론

본 논문에서는 2.2kw 펄프용 6/4 SRM에 대해 PI제어기를 사용하여 속도제어를 제안하고 실험을 하였다. 속도제어에 있어서, Advanced angle의 선정은 중요 요소이고 선행각에 따라 전류와 토크가 각기 다른 특성을 보였다. Turn-on 각이 8°, Turn-off 각이 46 일 때 속도응답이 안정적이고 토크 리플이 적었다. PI제어기의 상수값을 최적치로 찾아야 한다는 점이 남아있지만 몇 번의 실험을 통하여 보완될 수 있다.

DSP를 이용하여 속도 제어기, Commutation, Advance angle 계산, 위치 측정, 속도 계산, 전류 제어기 알고리즘으로 연산하였다. 이것은 더 나은 기능으로 upgrade를 하기 위해서 별도의 하드웨어를 추가하는 것이 아니라, 소프트웨어적인 방법만으로도 SRM의 동작영역을 넓히는 것이 가능하다. 그러므로 SRM의 장점인 저가 생산과 고효율을 발휘할 수 있도록 하며 추가적인 회로없이 소프트웨어적 방법만으로 해결할 수 있다.

본 실험에서 나타난 SRM 구동의 문제점은 무부하 일때는 소음과 진동이 양호하였으나 부하를 걸었을 때 진동과 소음이 심하게 일어났다. 이는 개선되어야 할 점이다. 향후 논문에서 SRM의 진동과 소음에 대한 논의 할 것이다.



<사진 1> 부하토크 테스트 및 시제품

감사의 글

본 논문은 한국전력공사 전력기반조성사업센터에서 지원한 전력변환시스템 신기술 연구센터 (과제번호2006-0273)의 사업으로 수행되었습니다

[참 고 문 헌]

- [1] Hassan Moghbelli, Gayle E. Adams, "Performance of a 10-Hp Switched Reluctance Motor and Comparison with Induction Motors", IEEE, 1991
- [2] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, 2001
- [3] GAMBICA, "Variable Speed Driven Pumps Best Practice Guide", BMPA
- [4] R.Krishnan, SWITCHED RELUCTANCE MOTOR DRIVES, CRCPress, 2001
- [5] Jae-Hak Choi, Joonseon S .Ahn, and Ju Lee, "The Characteristic Analysis of Switched Reluctance Motor Considering DC-Link Voltage Ripple on Hard and Soft Chopping Modes", IEEE Trans. on magnetics, vol.41, 2005
- [6] Christos Mademlis, "Performance Optimization in Switched Reluctance Motor Drives With Online Commutation Angle Control", IEEE Trans. on energy conversion, vol.18, 2003