

## 호이스트용 SRM의 설계 및 가변속 구동시스템의 개발

이주현 · 이진국 · 이동희\* · 안진우  
경성대학교 · Otis-LG\*

### Development of SRM Drive System for Hoist

Ju-Hyun Lee · Zhen-Guo Lee · Dong-Hee Lee\* and Jin-Woo Ahn  
Kyungsung University · Otis-LG\*

**Abstract** - This paper presents an excellence start-up performance drive system of Switched Reluctance Motor (SRM) for hoist. At first, the SRM design method of Hoist drive is expounded, and suitable Digital control arithmetic of SRM Hoist drive is advanced in the paper. Finally, some correlative experimentation has been finished, and the SRM Hoist drive has been confirmed in the experimentation.

율이 높아 전동식 호이스트 구동용 전동기에 매우 적합하다고 사료된다.

따라서 본 논문에서는 우선 먼저, 호이스트의 구동용으로 사용할 SRM를 설계하고, 다음으로 설계한 SRM을 호이스트 시스템에 적용하기 위한 가변속 디지털 제어기를 개발하였으며, 이를 마이크로프로세서 기반의 실제 실험을 통하여 그 적용성을 확인하고자 한다.

### 1. 서 론

최근 현대 산업의 형태가 복잡해지고 다양한 제품의 개발로 인하여 화물의 종류가 다양해짐에 따라 호이스트의 사용에 있어서 그 기능이 단순한 수직 권상에서 보다 다양한 기능이 요구되고 있다[1].

기존의 전동식 호이스트의 구조는 그림1과 같이 본체 구조부, 구동용 전동기, 브레이크 및 감속기, 와이어로프를 포함하는 권상부, 방호장치 및 후크 등으로 구성된다. 구동용 전동기로 일반적으로 산업용 유도전동기를 사용하며, 사용자의 상승 또는 하강 버턴의 누름에 따라, 유도전동기에 전원을 인가 또는 차단하거나, 상권선의 접속을 바꾸어, 회전방향을 변환하는 동작을 수행한다. 따라서 경제성은 좋으나, 화물의 하중에 따라 수직 권상 특성이 상이하게 나타나고, 전동기의 효율이 나쁘며, 부드러운 초기 운전이 어렵다.

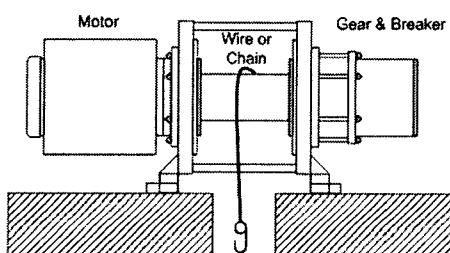


그림 1. 전동식 호이스트 구조  
Fig. 1. Structure of electric hoist

유도전동기를 대체할 구동용 전동기로는 다양한 형태의 전동기가 적용될 수 있으나 직류전동기의 경우 브리쉬의 마모로 인한 유지 보수성이 나쁘며, BLDC나 영구 자석 교류전동기의 경우 전동기 자체의 제작에 대한 경제성이 나쁘며, 구동을 위한 복잡한 드라이브를 필요로 하며, 영구자석의 사용으로 인하여 충격이나 환경적인 특성의 영향을 받게 되는 단점이 있다. 반면, SRM(Switched Reluctance Motor: 이하 SRM)은 펄스형 여자 전원에 의해 구동되는 전자기적인 구조를 갖는 전동기로서, 기계적인 구조가 매우 단순하며, 견고하여 경제성이 높다. 특히, 견인 특성이 우수하며, 내환경성과 내구성이 상대적으로 우수하고, 유도전동기에 비하여 효

### 2. 호이스트용 SRM 시스템의 개발

호이스트용 SRM 시스템의 개발에서 유의사항은 기존의 SRM 시스템과 달리 화물의 상승과 하강 시에 요구되는 토크가 서로 다른 것이다. 그리고 어떠한 회전자각도에서도 적절한 기동토크를 얻기 위해서는 인접한 인덕턴스의 변화 사이에 적절한 중복이 있어야 한다. 또한, 기동 시, 화물의 파손 및 충격을 완화하기 위한 알고리즘도 제어기에 반영되어야 한다.

#### 2.1 SRM의 설계

SRM의 설계 시, 정격속도 2000[rpm]의 정격출력 200[W]급(정격전압 220V, 정격토크 0.97[Nm], 최대토크 1.5[Nm])을 설계목표로 하였다.

표. 1 설계된 전동기의 주요사양

Table 1 The specification of the designed motor

Design Motor	Stator	Rotor
Number of Poles	12	8
Pole arc[deg.]	14	18
Outer diameter[mm]	132.0	74.6
Pole height[mm]	10.0	7.3
Stack length[mm]	28.7	28.7
Steel	PN18-35m	PN18-35m
Number of phases	3	
Turns/pole[turns]	230	
Air gap[mm]	0.25	
Efficiency	82%	

제작된 SRM의 치수는 그림 2와 표 1에, 전류에 따른 인덕턴스의 프로파일은 그림 3에 나타내었다.

SRM의 각 상 여자전류에 의하여 발생되는 토크들의 합이 전체 출력토크가 되므로, 3상 SRM의 출력토크  $T_{out}$ 는 식(1)과 같다.

$$T_{out} = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} + \frac{1}{2} i_b^2 \frac{dL(\theta-30^\circ)}{d\theta} + \frac{1}{2} i_c^2 \frac{dL(\theta-60^\circ)}{d\theta} \quad (1)$$

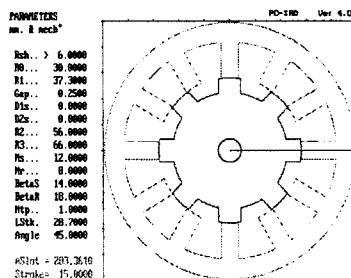


그림 2. 설계된 SRM의 치수  
Fig. 2. Designed dimension of SRM

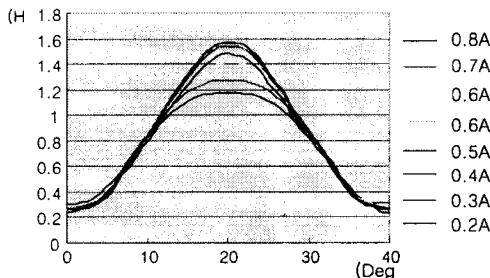


그림 3. 인덕턴스 프로파일  
Fig. 3. Inductance profile

## 2.2 구동시스템의 구축

직류기나 교류기와는 달리 SRM에서 토크를 효율적으로 발생시키기 위해서는 회전자의 위치에 따라 적절하게 전류를 공급해야 한다. 식(1)에서 알다시피, SRM의 발생 토크는 상전류의 제곱과 인가한 상전류에 의한 회전자 위치각에 대한 인덕턴스의 기울기에 의하여 결정됨을 알 수 있다. SRM의 발생토크가 상전류의 제곱에 비례함으로써 상전류의 방향과 무관하게 토크를 발생시킬 수 있으며, 인덕턴스의 기울기에 따라서 토크의 부호가 달라지므로 부토크의 발생을 억제하기 위해서는 반드시 회전자의 위치각에 동기하는 스위칭 여자를 해야 한다.

SRM의 작동은 각 상의 전류를 제어하는 것을 필요로 한다. 예를 들어 화물을 수직으로 권상하거나 속도 상승을 위한 정토크를 내기 위해서는 인덕턴스의 상승구간에 전원이 투입되어야 하며, 반대로 화물을 수직으로 권하하거나 속도 감소를 위한 부토크를 내기 위해서는 인덕턴스의 감소구간에 전원이 투입되어야 한다. 그리고 SRM의 출력토크가 상전류의 제곱에 정비례하므로 토크의 크기는 상전류의 크기에 의해 조정할 수 있다.

또한, 호이스트가 화물을 수직으로 권상할 때, 화물의 파손 및 충격을 완화하기 위하여 제어공학에서 널리 알려져 있는 IP제어기를 사용하여 SRM의 스무딩 운전을 실현하였다.

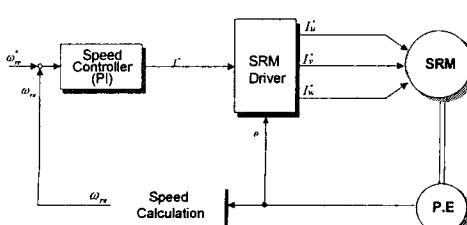


그림 4. SRM 속도 제어 시스템 블록도  
Fig. 4. Block diagram of SRM speed control system

그림 4는 SR전동기 페루프 속도 제어 시스템의 블록도를 보여준다. 전체 시스템은 크게 PI 속도제어기, SRM 드라이버, SR전동기, 위치펄스형 엔코더로 구성되어 있다. 시스템에서 지령속도는 SRM 축에 장착한 엔코더로부터 계산되어지는 실제속도와 비교하여 SRM에 인간에게 펼 지령전류신호를 만드는 비례-격분(PI)제어기에 입력된다.

## 3. 실험결과 및 고찰

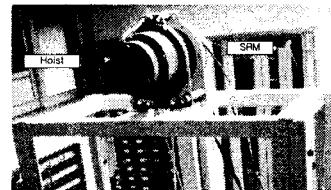


그림 5. 전체 시스템의 구성  
Fig. 5. Configuration of overall system

그림 5는 실험에 사용된 SRM을 적용한 전동식 호이스트 시스템의 구성을 보여준다. 이 시스템은 크게 전동기, 컨트롤러, 브레이크의 세부분으로 나뉜다. 브레이크는 48V의 DC전압 인가 시, 폴리도록 되어 있다.

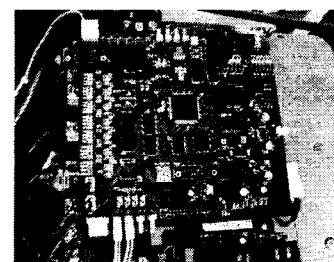


그림 6. SRM 컨트롤러  
Fig. 6. SRM controller

그림 6은 마이크로프로세서 기반의 SR전동기 컨트롤러를 각각 보여준다.

SR전동기 컨트롤러는 Texas Instrument(TI)사의 DSP320LF2407A를 베이스로 외부 아날로그 입출력과 디지털 입출력, 엔코더 펄스신호 입력 및 PWM 게이트 신호 출력 기능을 갖는 종합보드를 개발하여 사용하였다.

본 실험에서는 선행각(advanced angle)을 7.5[deg.], 통전각(dwell angle)을 17.5[deg.]로 하였으며 외부 아날로그 입력으로 속도지령을 주면 DSP내부 메모리에 탐색한 프로그램에 따라 속도오차를 연산하여 이를 제거하기 위한 지령값을 구하고 SRM 컨트롤러의 PWM 게이트신호 출력포트를 통해 인버터모듈에 필요한 게이트신호를 인가한다. 인버터 모듈에서 출력되는 3상전압에 의해 SRM은 회전하고 이 때 검출된 3상의 전류는 SRM 컨트롤러의 아날로그 입력포트를 통해 프로그램에 읽혀진다. 엔코더에서 출력되는 펄스는 프로그램 방식으로 SRM의 기계각속도를 연산하여 제어시스템의 속도 제어기에 사용된다.

그림 7과 그림 8은 화물을 수직으로 상승 및 하강할 경우, 정속도 지령 하에서 기동, 운전, 정지과정을 포함한 실험결과들을 보인다. 그림의 전류 과정으로부터 SRM 제어를 위한 스위칭이 잘 이루어짐을 볼 수 있다. 또한, 기동과 정지 시의 속도 응답과정으로부터 속도의 급변 없이 스무딩하게 변화함을 보이며, 화물의 파손 및 충격이 크게 완화될 것이라고 기대된다.

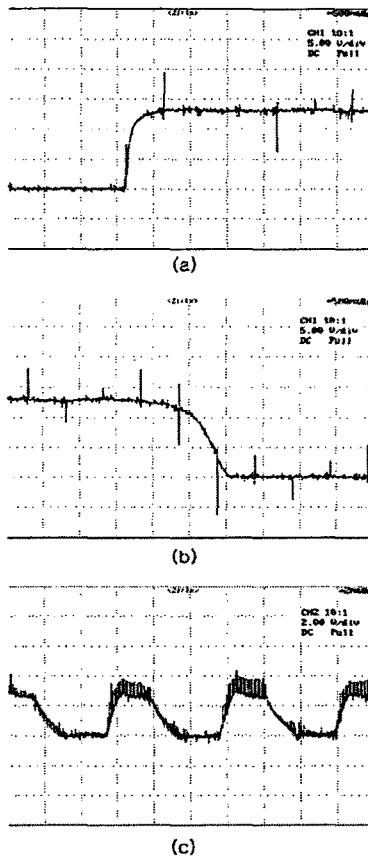


그림 7. 화물을 수직으로 상승할 경우, 정속도 지령하에서의 실험결과  
 (a) 기동 시 속도 파형 (500rpm/div)  
 (b) 정지 시 속도 파형 (500rpm/div)  
 (c) 운전 중 상전류 파형 (2.5A/div)

Fig. 7. Experimental results with constant reference speed when move up  
 (a) when start(500rpm/div)  
 (b) when stop(500rpm/div)  
 (c) phase current(2.5A/div)

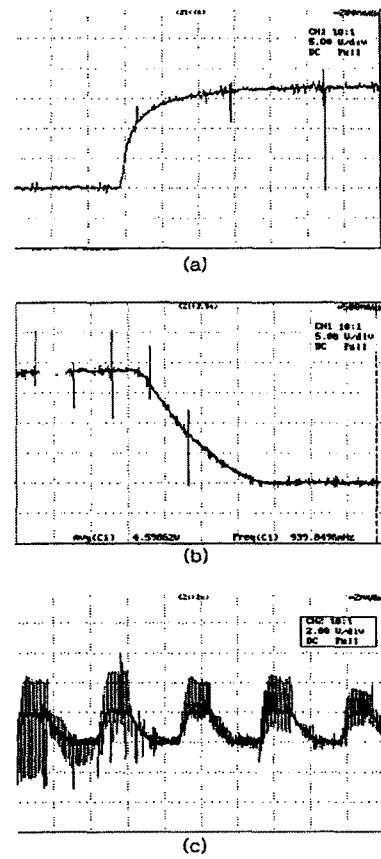


그림 8. 화물을 수직으로 하강할 경우, 정속도 지령하에서의 실험결과  
 (a) 기동 시 속도 파형 (500rpm/div)  
 (b) 정지 시 속도 파형 (500rpm/div)  
 (c) 운전 중 상전류 파형 (2.5A/div)

Fig. 8. Experimental results with constant reference speed when move down  
 (a) when start(500rpm/div)  
 (b) when stop(500rpm/div)  
 (c) phase current(2.5A/div)

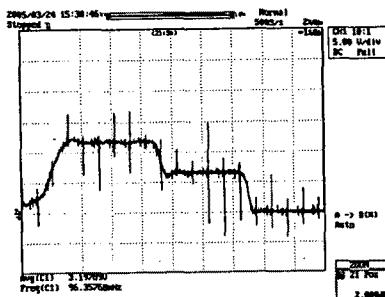


그림 9. 화물을 수직으로 상승할 경우, 다단계 속도지령 하에서의 실험결과  
 (500rpm/div)

Fig. 9. Step speed response(500rpm/div)

그림 9는 화물을 수직으로 상승할 경우, 다단계 속도 지령하에서의 기동, 운전, 정지과정을 포함한 속도응답결과를 보인다. 실험결과로부터 기동과 정지시는 물론 운전 중, 외부버튼을 이용하여 속도를 수시로 가변할 경우에도 화물의 속도를 스무딩 하게 지령 속도에 도달하게 함으로써, 화물의 파손 및 충격을 방지하게 한다.

#### 4. 결 론

본 연구는 기존의 호이스트가 화물을 수직으로 권상할 경우, 속도의 급변으로 발생하는 화물의 파손 및 충격을 완화하기 위한 대책으로 우수한 기동특성을 갖고 있는 SRM을 적용한 전동식 호이스트를 제작하였다. 이를 위해, 우선 호이스트용의 SRM을 설계, 제작한 후, 그에 적합한 마이크로프로세서 기반의 디지털 제어기를 개발하였다. 개발된 가변속 구동시스템은 실세실험을 통해 전운전 영역에서 스무딩 운전이 실현됨을 확인하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 라병훈, 이종률, 이현우, "삼상 양방향 교류 전압 제어기를 이용한 호이스트용 통합 드라이브 시스템에 관한 연구", 경남대학교 공학기술연구소 연구논문집 제20권 pp117~129, 2002.
- [2] 안진우, "스위치 퀼럭틴스 전동기", 오성미디어, pp. 1~454, 2004.
- [3] 황형진, 박성준, 안진우, "전인용 SRM의 4상한 구동을 위한 제어 시스템", 전력전자학술대회 논문집, pp186~189, 2004. 7.