

450톤 크레인용 110 kW 유도전동기 벡터 드라이버 개발에 관한 연구

김영석*, 김성윤, 이해규, 안병규* 김성준, 석줄기, 설승기**

Development of 110 kW AC Motor Vector Drive for 450 Ton Gantry Crane

Young-Seok Kim*, Seong-Yoon Kim, Hae-Keu Lee, Byung-Ku Ahn

Changwon R & D Institute, Samsung Heavy Industries.*

Sung-Jun Kim, Jul-Ki Seok, Seung-Ki Sul

Dept. of Electrical Engineering, Seoul National University**

Abstract - In crane drives, DC motor has been most widely used due to simple control characteristic and favorable transient behavior. Nowadays, however, the squirrel cage induction motor is known as an attractive candidate due to elimination of all sliding electrical contacts, resulting in an exceedingly simple and rugged construction. Especially, in hoist application, the smooth torque control and four quadrant operation are essential. In this paper, an operation of dual inverters with common DC bus fed by vector controlled induction motor is described. Single DSP is employed as a main processor to control dual inverters and communicates each input/output signal with PLC. As well as giving a detailed expression, full simulation and experimental results are presented.

1. 서론

국내 산업계 FA 수요확대 및 NIBS(신용공업경제국) 항만설비부자의 급격한 증대 등의 시장변화에 대응하여 하역기계업체에서도 구조적인 기반강화의 일환으로 제품의 고부가가치화를 위해 각종 자동화, 무인화 장치 개발을 시도하여 수주경쟁력을 높이고 있는 추세이다. 이의 일환으로 항만하역기계의 주요 구동기로 대부분 사용되는 직류전동기를 유지, 보수가 거의 필요없는 교류전동기와 AC 드라이버로 대체하고 있다. 이는 대용량 전력용 반도체 및 고속 마이크로 프로세서 그리고 유도전동기 제어 이론의 발전에 기인한 것이다.

한편 항만하역 크레인에서의 적용을 위한 110 kW 벡터 드라이버의 개발은 국내에서는 처음으로 시도되었다. 그러나 해외의 경우 일본의 야스카와사, 유럽의 지멘스사 등 대부분의 세계적인 중전기 업체에 의해 크레인뿐만 아니라 다른 분야에까지 대용량 교류 벡터 드라이버의 응용 폭을 넓혀 가고 있다.

110 kW 벡터 드라이버의 적용 대상인 450톤 겐트리 크레인은 선박용 엔진을 취급하는 특징으로 인해 Smooth한 속도제어가 절대적으로 필요하다.

또한, 항만에서 사용되는 하역기계는 토크-속도속의 4상한을 자유자재로 운전해야 하는 조업 특징으로 인해 일반 수평부하와는 달리 극히 에너지의 변화가 심한 부하로 속도 및 토크가 순시적으로 제어되는 벡터 드라이브만이 운용상 적합하다.

본 연구는 450톤 선박용 엔진을 들기 위한 겐트리 크레인의 권상 구동용 유도 전동기 벡터 드라이브에 관한 것으로서 DSP(Digital Signal Processor)를 이용한 전 디지털 제어 및 단일 DSP에 의한 Multi-Motor Drive를 주요 특징으로 한다.

2. 시스템 구성

450톤 겐트리 크레인은 권상운동(Hoist Motion), 횡행 운동(Trolley Motion), 주행운동(Gantry Motion)으로 이루어진다. 그림1은 개발품이 적용되어진 450톤 겐트리 크레인을 보여준다. 크레인 횡행 및 주행운동의 제어는 정밀제어를 요구하지 않기 때문에 유도전동기 2차저항 제어법을 사용하였다. 권상운동은 부하에 충격을 주지 않으면서 빠른 가감속 제어 및 4상한 운동을 행해야 하므로 벡터 드라이브를 적용하였다. 450톤 권상 부하 구동을 위한 주 전원 및 제어 결선도는 그림 2와 같다. 각각의 유도전동기 용량은 110 kW이며 각각의 유도전동기가 기어(Gear Reducer)와 드럼(Wire Drum)을 통해 정격의 반부하인 225톤을 들어올린다. 주전원의 컨버터(Converter)부는 220 kW의 다이오드 정류기를 사용하여 공통의 DC 모션을 사용하게 설계되어졌다.

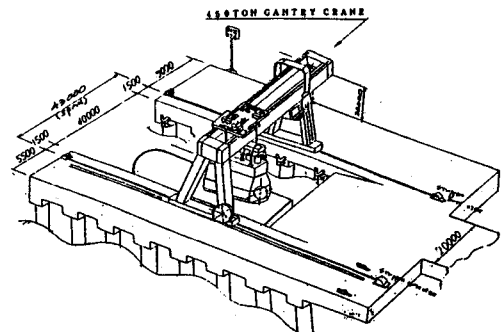


그림1 450톤 크레인

제어회로는 상위 레벨 제어기인 PLC를 통해 속도명령치 및 입출력 신호를 주고 받으며 내부적으로는 하나의 DSP를 사용하여 두대의 유도전동기를 벡터 제어하고 있다.

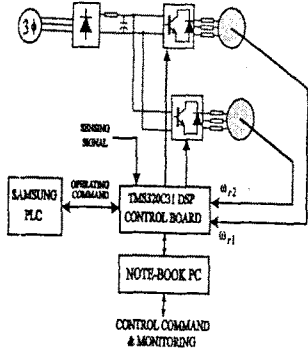


그림 2 주전원 및 제어 결선도

3. 크레인의 부하량에 따른 유도전동기 병렬운전

기존의 크레인에서는 정격부하를 다룰 수 있는 모터 1대와 드라이버 1대로서 시스템이 구성되어 있었다. 그러나 실제 크레인에서 정격부하 이하의 중량물을 들어 올려야 하는 경우가 많이 발생하는데 이런 경우에도 정격부하를 들기 위한 모터와 드라이버 그리고 감속기를 사용하여만 하는 문제점이 있었다. 본 논문은 이러한 문제점을 극복할수 있는 병렬운전 드라이버에 관한 것이다. 부하가 정격의 반 이하일 경우는 모터 1대만을 구동시켜 크레인의 권장동작을 제어하며 정격의 반 이상일 경우 2대의 모터를 연동시켜 부하를 구동시킨다. 컨버터 부분은 정격부하에 맞추어진 제어가 필요없는 3상 다이오드 전파전류회로로 구성하였다. 직류전원을 공통으로 사용하여 정격의 반부하를 다룰수 있는 용량의 인버터 2대를 병렬로 구성하여 각각의 부하에 대해 대응할수 있게 설계되어졌다. 부하에 따라 운전자가 단독운전 또는 연동운전의 신호를 선택하며 운전자에 의해 발생되어진 신호는 PLC를 거쳐 인버터의 제어 신호로 주어진다. 2대의 유도전동기의 병렬운전을 위해 고속의 디지털 신호 처리기를 사용하였다. 그림3은 정격의 반 이상의 부하일 때의 크레인 구동구조로서 트롤리 상판위에 놓여 있는 감속기와 드럼 그리고 로우프에 매달려 있는 정격부하를 보여준다. 이와 같은 구조는 부하의 종류에 따라 크레인의 모터와 드라이버 및 감속기 등을 효율적으로 사용할수 있기 때문에 설비의 수명 연장 및 효율 제고를 이룰수 있고 드라이버 설치 공간의 축소의 장점을 가지고 있다.

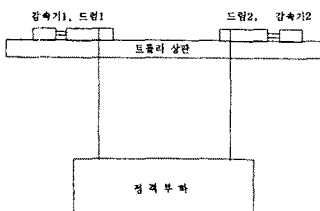


그림3. 정격부하시의 크레인 구동구조

4. 시뮬레이션 및 검토

ACSL (Advanced Continuous Simulation Language) 을 사용하여 디지털컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 사용된 110kW 유도전동기의 상수는 표 1과 같으며, 전류 제어 주기는 250 usec, 속도 제어 주기는 25 msec마다 수행 하였다.

용량	110 kW	고정자저항	0.0065 ohm	회전자누설인덕턴스	0.1954 mH
정격전압	360 V	상호인덕턴스	10.67 mH	회전자저항	0.00665 ohm
극수	4	고정자누설인덕턴스	0.1954 mH	관성	10 kg·m ²

표1 유도전동기 상수

시뮬레이션 조건은 정격 부하 토크가 3초에서 4초 사이에 인가되고 속도 지령은 3초에 정격 속도로 주어졌다. 설계시 사용된 전류 제어 차단 주파수는 1200 [rad/sec], 속도 제어 차단 주파수는 10 [rad/sec]으로 하였다.

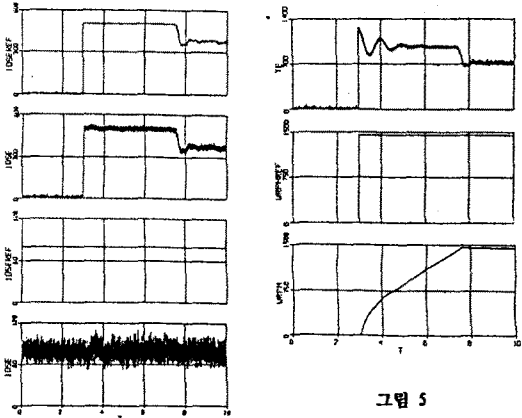


그림 4.

그림 5

- (a) q축 지령 전류, (b) 실제 전류, (c) d축 지령 전류, (d) 실제 전류

- (a) 전동기 토크, (b) 지령 속도, (c) 실제 속도

그림 4에서는 위로부터 각각 (a)q축 지령 전류, (b) 실제 전류, (c)d축 지령 전류, (d)실제 전류이다. 인가된 속도 지령과 부하 토크를 내기 위하여 속도가 지령값에 도달하는 약 8초까지 q축 전류가 속도제어기에서 제한된 최대값으로 제어되고 있고, 이 때에도 d축 전류는 잘 제어되고 있음을 보여주고 있다. 그림 5에서는 위로부터 각각 (a) 전동기 토크, (b) 지령 속도, (c) 실제 속도이다. 이 때 토크에 진동(Oscillation)이 생기는 것은 본 제어에 사용되는 전동기의 회전자 저항이 작아서 시스템의 고유치(eigenvalue)가 허수 축 근처에 있기 때문이다.

이를 해석적으로 설명하면 유도전동기 전압방정식에서,

$$0 = R_s i_{qr}^* + p \lambda_{qr}^* - \omega_r \lambda_{dr}^* \quad (1)$$

$$0 = R_s i_{dr}^* + p \lambda_{dr}^* + \omega_r \lambda_{qr}^* \quad (2)$$

$$i_{qs}^* = \frac{\lambda_{qs}^* - L_m i_{qs}^*}{L_r} \quad (3)$$

식 (3)을 식 (1), (2)에 대입하면,

$$p\lambda_{qs}^* = -\frac{R}{L_r}(\lambda_{qs}^* - L_m i_{qs}^*) + \omega_r \lambda_{qs}^* \quad (4)$$

$$p\lambda_{ds}^* = -\frac{R}{L_r}(\lambda_{ds}^* - L_m i_{ds}^*) - \omega_r \lambda_{ds}^* \quad (5)$$

와 같이 된다. 이식들은 회전자 자속(Rotor Flux)에 대해 정리하면

$$P \begin{bmatrix} \lambda_{qs}^* \\ \lambda_{ds}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau_r} & \omega_r \\ -\omega_r & -\frac{1}{\tau_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{qs}^* \\ \lambda_{ds}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{L_m}{\tau_r} \\ \frac{L_m}{\tau_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^* \\ i_{ds}^* \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서, $\tau_r = \frac{L_r}{R}$ 이다.

식(6)에 대한 고유치를 구하면

$$s = -\frac{1}{\tau_r} \pm j\omega_r,$$

과 같이 된다.

5. 실험결과 및 검토

그림 6은 무부하 상태에서의 운전에 관한 것이다. 위로부터 (a)전동기 1의 q축 실제 전류, (b)전동기 2의 q축 실제 전류, (c)전동기 1의 실제 속도, (d)전동기 2의 실제 속도가 나타나 있다. 속도가 정격 1450 [rpm]까지 상승하는 동안 전동기 1, 2의 q축 실제 전류는 속도제어기 출력의 최대값으로 잘 제어됨을 볼 수 있다. 속도가 지령값까지 상승한 후에는 무부하 상태이므로 전동기 1, 2의 q축 실제 전류는 거의 영상태로 제어되고 있다. 여기서 전동기 1, 2의 속도가 반대인 것은 두대의 전동기가 서로 마주보고 있기 때문이다.

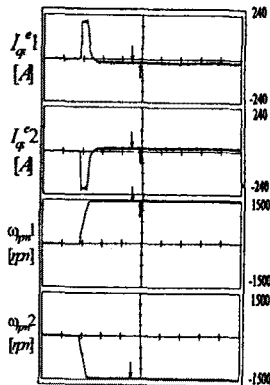


그림 6 (a) 전동기 1의 q축 실제 전류,
(b) 전동기 2의 q축 실제 전류,
(c) 전동기 1의 실제 속도,
(d) 전동기 2의 실제 속도.
(무부하 상태)

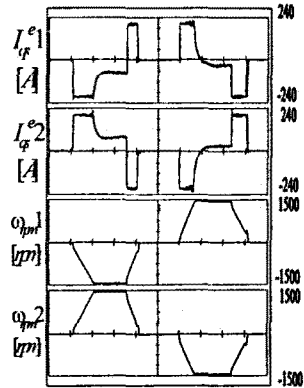


그림 7 (a) 전동기 1의 q축 실제 전류,
(b) 전동기 2의 q축 실제 전류,
(c) 전동기 1의 실제 속도,
(d) 전동기 2의 실제 속도
(25% 정격 부하 운전)

그림 7은 정격의 25% 부하 인가시에 정격 속도로 정역 운전한 실험 파형이다. 위로부터 (a)전동기 1의 q축 실제 전류, (b)전동기 2의 q축 실제 전류, (c)전동기 1의 실제 속도, (d)전동기 2의 실제 속도가 나타나 있다. 속도가 정격 1450 [rpm]까지 가감속하는 동안 전동기 1, 2의 q축 실제 전류는 속도제어기 출력의 최대값으로 잘 제어됨을 볼 수 있다. 속도가 지령값까지 상승한 후에는 25% 부하 상태이므로 전동기 1, 2의 q축 실제 전류는 정격 전류 300 [A]의 25%인 약 70 [A]로 제어되고 있다.

6. 결론

450톤 잼트리 크레인의 권상 부하 구동용 110 kW 벡터 인버터를 개발하여 크레인 시스템 제어기인 PLC와의 통신을 통해 크레인 권상운동을 제어하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제어 알고리즘을 검증하였으며 DSP를 사용하여 실제 구현하였다. 향후 모터 파라미터 자동 튜닝에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] F. Blasche, "A New Method for the Structural Decoupling of AC Induction Machines", IFAC Symposium, Duesseldorf, Germany, pp. 1-15 (6. 2. 1), 1971.
- [2] Gabriel and W. Leonard, "Field Oriented Control of a Standard AC Motor Using Microprocessors", IEEE IAS Conf. Rec., pp. 910-916, 1979.
- [3] R. De Donker and D. W. Novotny, "The Universal Field Oriented Controller", IEEE IAS Conf. Rec., pp. 450-456, 1988.