

전압제어 회로에 의한 호이스트용 통합 드라이브 장치

(The Integration Drive Equipment for Hoistby using Voltage Control Circuit)

°라병훈° · 송대현** · 서기영° · 고희석° · 이현우°
 (Byung-Hun Ra° · Dae-Hyun Song** · Ki-Young Suh° · Hee-Sedg Koh°)

* 경남대학교 · ** 항공기능대학
 (* Kyungnam University · ** Korea Aviation Polytechnic College)

Abstract

An existent hoist drive system is using each different drive equipment in control of Hoisting, traveling(T/L), traversing(T/S) driving, so there are much energy losses because of excessive weight. Also, power circuits are using relay contact, so working environment are frequent secession accident etc.. by shock on unfavorable condition, and there is danger of safety accident, maintenance has frequent problem and so on. To solve these problem, it is integrated each driving power supply in drive system for hoist, control and drive, utility power supply etc.. by single device in this research. The power circuit is consisted of non-contact circuit applying to bidirectional voltage controller circuit using thyristor that is power semiconductor switching device.

1. 서 론

현재 국내에는 철강, 조선, 항만, 건설 등의 중공업 분야의 업종에서 무거운 제품이나 재료 등을 이송하는 작업을 위하여 동력에 의한 호이스트(hoist) 혹은 크레인(crane)을 사용하고 있다. 그 중 비교적 중증량 및 경증량의 제품의 이송작업에는 호이스트(hoist)를 많이 사용한다. 호이스트의 동작은 제품을 상하로 이송하는 호이스팅(hoisting), 좌우 이송 작업인 횡행(T/Straversing)과 호이스트 자체 전장의 주행(T/Ltravelling)으로 구분된다.^{[1][2]}

본 논문에서는 천정용 호이스트의 세 가지 운전형태를 제어하는 전원장치에 대하여 논하고자 한다. 기존의 호이스트의 제어용 드라이브 시스템은 그림 1에 나타난 바와 같이 각 운전용 전원회로와 제어 드라이브 장치가 각각 단품으로 제작, 판매되고 있어 설치 및 유지보수 작업자의 불편함과 위험성을 가지고 있다. 또한 전원회로는 릴레이(relay) 방식의 시퀀스 유접점 회로로 구성되어 빈번한 스위칭에 의한 접점 소결과 이로 인한 유지보수가 빈번하고 그 신뢰성이 떨어지며 그 제어 파라메타와 소프트웨어가 수입에 의존하고 있다.^[3]

이러한 호이스트 시스템의 단점을 해결하기 위하여 최근 전력용 반도체 소자 제조기술의 발달에 힘입어 아주 많은 연구성과를 가져오고 있는 전력전자의 전력변환 기술 중 양방향 교류전압 제어기 회로를 응용하여, 기존의 유접점 방식의 전원장치를 무접점의 전력용 반도체 소자인 다이리스터로 대체하기 위하여 다이리스터 점호회로, 삼상 교류

전압제어기 회로, 그리고 호이스트용 유도전동기의 모델링과 구동방법 등에 대하여 연구하고자 한다. 그리하여 호이스트의 각 동작별 전원회로와 제어 및 드라이브 회로 등을 통합, 제어하는 호이스트 통합 드라이브 시스템을 제안하고자 한다.^{[4]-[9]}

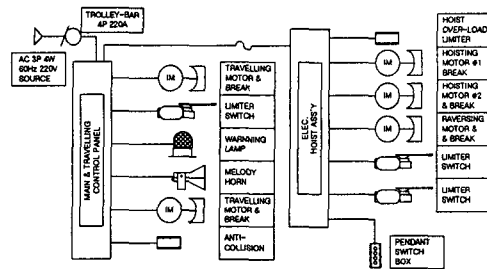


그림 1. 기존의 호이스트용 드라이브 블록 다이어그램
 Fig. 1. Block diagram of conventional hoist drive

2. 전원장치

2.1 다이리스터 회로

전력용 반도체 스위칭 소자인 다이리스터의 스위칭 형태는 그림 2(a)의 회로에서 게이트 전류 i_g 에 의해 전원측 전압의 양의 반 사이클 동안 전류가 도통되어 이루어진다. 다이리스터의 전류(commutation)는 전원측 전압이 음으로 될 때 자체적으로 역으로 되는데, 이상적인 다이리스터는 그림 2(b)의 파형처럼 $t=1/2T$ 후에 바로 영전류가 된다.

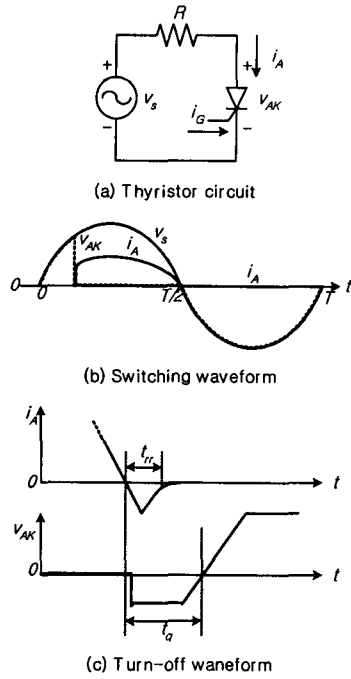


그림 2. 다이리스트 회로와 파형
Fig. 2. Thyristor circuit and waveforms

하지만 실제의 다이리스터는 그림 2(c)의 파형에서 보여 주듯이 다이리스터 전류는 영이 되기 전에 역으로 된다. 중요한 변수는 전류가 음으로부터 영이 되는 시간이 아니라, 전류가 영이 되는 시점부터 다이리스터에 걸리는 전압이 영이 되는 시점까지의 꺼지는 시간 t_g 이다. t_g 기간 동안 역전압이 다이리스터 사이에 유지되어야 하고, 이 시간이 지난 후 온 상태에 관계없이 소자는 순방향 전압을 견뎌야 한다. 만약 순방향 전압이 이 기간이 지나기 전에 다이리스터에 인가된다면 소자는 앞서서 켜지게 될 것이고 소자나 회로에 충격을 준다.

본 논문에서의 다이리스터의 응용은 인버터급 다이리스터로 이것은 온상태 전압이 낮을 뿐만 아니라 꺼지는 시간 t_g 가 작도록 설계되어 있어야 하며, 반면 t_g 값이 짧을수록 온상태 전압은 커진다. 이 소자들은 2500[V]와 1500[A] 정도까지 사용할 수 있다. 이들의 꺼지는 시간은 보통 저지정적전압과 온상태 전압강하에 따라서 수[μ s]에서 100[μ s] 정도이다.

2.2 다이리스터 점호회로

일반적으로 다이리스터 제어기에서는 각 단자에 다른 전위가 나타나게 된다. 전력회로는 보통 100[V]보다 큰 고전압이 이용되며 게이트 회로는 일반적으로 12[V]에서 30[V] 사이인 저전압을 이용한다. 절연회로는 각 다이리스터와 게이트 펄스 발생회로 사이에 필요하게 된다. 이러한 절연에는 펄스변압기 또는 광 커플러 등을 사용한다.

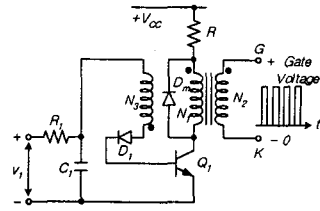


그림 3. 펄스변압기를 이용한 절연
Fig. 3. Pulse transformer isolation

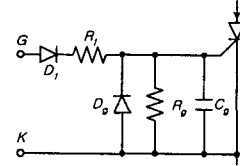


그림 4. 게이트 보호회로
Fig. 4. Gate protection circuit

펄스 변압기를 이용한 간단한 절연방식은 그림 3에 나타나 있다. 유도성 부하를 가진 전력 제어기에서 다이리스터의 도통기간은 부하역률에 따라 변화한다. 따라서, 다이리스터 도통의 시작은 잘 결정되지 못한다. 이러한 상황에서 연속적으로 다이리스터를 트리거할 필요가 있게 된다. 그러나 연속적인 트리거는 다이리스터의 손실을 증가시킨다.

그림 4는 보조권선을 이용하여 일련의 펄스를 발생시키는 방법에 대하여 나타낸 것이다. 트랜지스터 Q_1 이 턴오프되면, 트랜지스터 Q_1 의 베이스로 연결되는 보조권선에 전압이 유기되며, 다이오드 D_1 은 역바이어스되고 Q_1 은 턴오프 된다. 그 사이에 커패시터 C_1 에는 R_1 을 통하여 충전되고 Q_1 은 다시 턴온 된다. 이러한 턴온과 턴오프 과정이 절연기에 대하여 입력신호가 주어지는 한 계속된다.

그림 3의 펄스 출력은 그림 4의 게이트 보호회로와 더불어 게이트와 캐소드 사이에 연결된다. 여기서, 저항 R_g 는 다이리스터의 dv/dt 능력을 향상시키고, 턴오프 시간을 감소시키는 동시에 유지전류와 래칭전류를 증가시킬 수 있다. 또한, 커패시터 C_g 는 고주파 잡음을 제거하여 dv/dt 능력과 게이트 지연시간을 증가시키는 역할을 한다. 다이오드 D_g 는 부(負)의 전압으로부터 게이트를 보호한다. 그러나 비대칭 다이리스터에 있어서 부의 전압을 어느 정도 나타내는 것은 dv/dt 능력을 향상시키고 턴오프 시간을 감소시킬 수 있다는 점에서 바람직하다. 여기서 D_1 은 오직 정(正)의 펄스만이 유효하며, 저항 R_1 은 과도전동을 억제하고 게이트 전류를 제한하는 역할을 한다.

2.3 삼상 양방향 교류 전압 제어기

출력전압 파형의 비대칭 특성으로 인해, 직류 입력전류 및 높은 고조파 성분을 포함하는 단방향 제어기는 교류 전동기 구동에는 일반적으로 이용되지 않고 삼상 양방향 전압제어기가 보편적으로 이용된다.

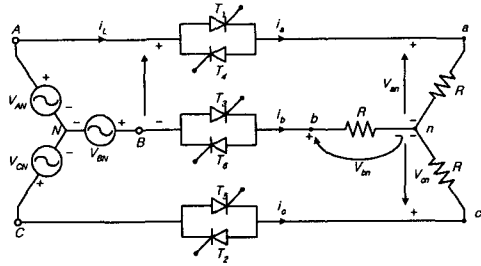


그림 5. 삼상 양방향 전압 제어기
Fig. 5. Three phase bidirectional voltage controller

그림 5는 성형 결선 된 저항부하를 갖는 삼상 전파 혹은 양방향 전압제어기의 회로도이다. 이 제어기의 동작은 복귀 전류경로가 다이오드 대신에 다이리스터 T_2, T_4, T_6 으로 바뀐 것 이외에는 반파 제어기의 동작과 유사하다. 다이리스터의 점호 순서는 $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ 이다.

그림 6은 $\alpha = 60^\circ$ 와 $\alpha = 120^\circ$ 일 때 입력전압, 다이리스터의 도통각, 출력 상전압의 파형을 나타낸다. $0 \leq \alpha < 60^\circ$ 동안은, T_1 의 점호 직전에 두 개의 다이리스터가 도통되어 있고 일단 T_1 이 점호되면 세 개의 다이리스터가 도통한다. 다이리스터는 다이리스터의 전류가 역전되려 할 때 턴-오프 된다. 그 조건은 두 개와 세 개의 도통 다이리스터 사이에서 번갈아 일어난다. $60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ 동안은 언제나 오직 두 개의 다이리스터가 도통한다. $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ 동안은 언제나 두 개의 다이리스터가 도통하지만, 아무런 다이리스터도 온이 아닌 기간에 존재한다. $\alpha \geq 150^\circ$ 인 경우에는 두 개의 다이리스터가 도통하는 기간은 존재하지 않으며, 출력전압은 $\alpha = 150^\circ$ 에서 영으로 된다. 지연각 범위는 다음과 같다.

$$0 \leq \alpha \leq 150^\circ \quad \dots\dots(1)$$

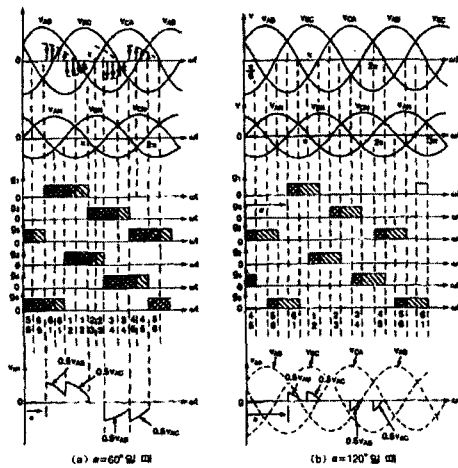


그림 6. 양방향 전압기 제어기 동작파형
Fig. 6. Operation waveform of bidirectional voltage controller

반파 정류기와 마찬가지로 실효출력전압에 대한 표현은 지연각의 범위에 의존한다. 성형결선 부하의 실효출력전압은 다음으로부터 알 수 있다.

■ $0 \leq \alpha < 60^\circ$ 일 때 :

$$V_o = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{oa}^2 d(\omega t) \right]^{1/2}$$

$$= \sqrt{6} V_i \left\{ \frac{2}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi/3} \frac{\sin^2 \omega t}{3} d(\omega t) + \int_{\pi/4}^{\pi/2+\alpha} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) \right. \right.$$

$$+ \left. \int_{\pi/3+\alpha}^{2\pi/3} \frac{\sin^2 \omega t}{3} d(\omega t) + \int_{\pi/2}^{\pi/2+\alpha} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) \right.$$

$$\left. + \int_{2\pi/3+\alpha}^{\pi} \frac{\sin^2 \omega t}{3} d(\omega t) \right\}^{1/2}$$

$$= \sqrt{6} V_i \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{8} \right) \right]^{1/2} \quad \dots\dots(2)$$

■ $60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ 일 때 :

$$V_o = \sqrt{6} V_i \left[\frac{2}{2\pi} \left\{ \int_{\pi/2-\pi/3+\alpha}^{5\pi/6-\pi/3+\alpha} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) \right. \right.$$

$$\left. + \int_{\pi/2-\pi/3+\alpha}^{5\pi/6-\pi/3+\alpha} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) \right\} \right]^{1/2} \quad \dots\dots(3)$$

$$= \sqrt{6} V_i \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{12} + \frac{3\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{1/2}$$

■ $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ 일 때 :

$$V_o = \sqrt{6} V_i \left[\frac{2}{2\pi} \left\{ \int_{\pi/2-\pi/3+\alpha}^{\pi} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) \right. \right.$$

$$\left. + \int_{\pi/2-\pi/3+\alpha}^{\pi} \frac{\sin^2 \omega t}{4} d(\omega t) \right\} \right]^{1/2} \quad \dots\dots(4)$$

$$= \sqrt{6} V_i \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{5\pi}{24} - \frac{\alpha}{4} + \frac{\sin 2\alpha}{16} + \frac{\sqrt{3}\cos 2\alpha}{16} \right) \right]^{1/2}$$

2.4 삼상 역 스위치

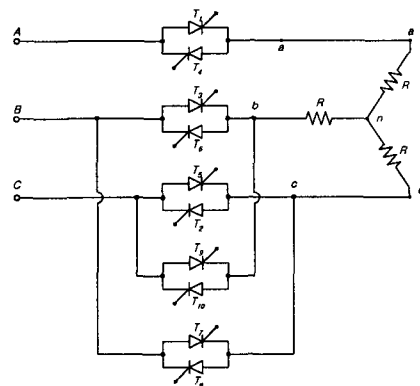


그림 7. 삼상 역 다이리스터 교류 스위치
Fig. 7. Three phase reverse thyristor AC switch

부하로 공급되는 삼상 전력의 역전은 그림 5의 삼상 스위치를 그림 7과 같이 또 다른 두 개의 단상 스위치를 덧 붙임으로서 이루어 질 수 있다. 정상동작시, 다이리스터 T_7 에서 T_{10} 까지는 게이트 펄스 억제에 의해 턴오프 되고, 다이리스터 T_1 에서 T_6 까지는 턴온 된다. 선로 A는 단자 a를, 선로 B는 단자 b를, 선로 C는 단자 c를 통해 전력을 공급한다. 위상반전 동작시에는 다이리스터 T_2, T_3, T_5 및 T_6 는 게이트 펄스를 저지함으로써 턴오프 되며, 다이리스터 T_7 에

서 T_{10} 은 동작한다. 선로 B는 단자 c에, 선로 C는 단자 b에 전력을 공급하여 그 결과로 부하에 인가된 전압의 위상반전이 일어난다. 위상 반전을 얻기 위하여, 모든 소자는 다이리스터로 되어야 한다. 즉, 다이리스터와 다이오드가 역병렬 접속된 스위치는 사용될 수 없다. 그렇지 않으면 위상간 단락(phase-to-phase short)가 발생된다.

3. 유도전동기 구동

3.1 고정자 전압제어

본 논문에서의 유도전동기의 속도와 토크의 제어는 고정자 전압제어를 채택하였다. 토크가 고정자 전압의 제곱에 비례하고, 고정자 전압의 감소가 속도를 감소시키므로 단자 전압이 bV_s 에 따라 감소되면, 다음과 같은 발생토크를 얻는다.

$$T_d = \frac{3R_r(bV_s)^2}{s\omega_s[(R_s + R_r/s)^2 + (X_s + X_r)^2]} \quad (5)$$

여기서, $b \leq 1$ 이다.

그림 8은 b 값의 변화에 대한 전형적인 토크-속도특성을 나타낸다. 부하선과의 교차점은 안정동작점이다. 어떤 자기회로에서 유도전압은 자속과 주파수에 비례하고, 실효 공극자속은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V_a = bV_s = K_m \omega \phi, \quad (6)$$

$$\phi = \frac{V_a}{K_m \omega} = \frac{bV_s}{K_m \omega}$$

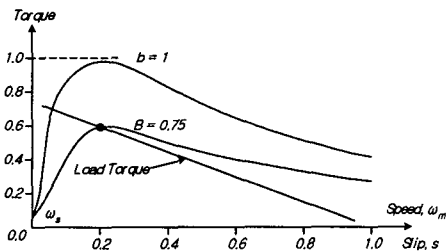
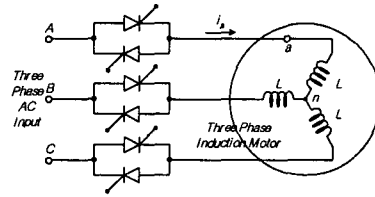


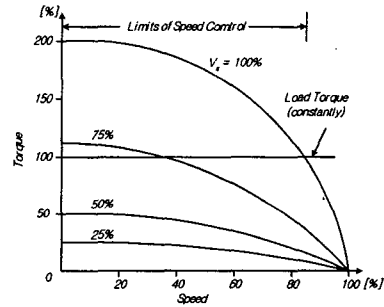
그림 8. 가변 고정자 전압을 갖는 토크-속도 특성
Fig. 8. Torque-speed characteristics with variable stator voltage

여기서, K_m 은 상수이며, 고정자 권선의 권수비에 의존한다. 고정자전압이 감소될 때, 공극자속과 토크도 감소된다. 저전압에서 전류는 $s_a = 1/3$ 의 슬립에서 피크치가 될 것이다. 속도제어의 범위는 최대토크에 대한 슬립 s_m 에 의존한다. 저슬립 전동기에 대해 속도 범위는 매우 협소하다. 이러한 전압제어의 형은 일정 토크부하에 대해 부적당하며, 일반적으로 저슬립에서 낮은 기동토크와 협소한 속도범위를 필요로 하는 응용에 사용된다.

고정자 전압 제어에 의한 속도 제어법에서 저속에서 슬립이 크므로 고정자 전압을 조절하여 속도를 제어하게 되면 회전자 손실이 크게 되어 에너지 효율이 나빠지게 된다. 그러므로 호이스트용 전동기는 모터 선정시에 정격이 충분히 큰 전동기를 선택하여 저속 운전 구간에 정격 회전자 손실이 상용 주파수 가변전압 구동법으로 제어할 시에는 최대 회전자 손실보다 항상 크도록 해야한다. 고정자 전압 제어의 경우 전동기의 상전압과 상전류는 비정현파로 고조파 성분을 포함하고 있어 맥동 토크가 발생하며 손실이 발생한다. 그러므로 이 저속 제어법은 호이스트에 있어 간헐적인 부하에 국한되어 사용되어야 한다.



(a) Circuit



(b) Speed control characteristics

그림 9 고정자 전압 제어

Fig. 9. Stator voltage control

3.2 유도전동기 폐-루프제어

폐-루프제어는 일반적으로 교류 구동의 정상상태와 과도상태 특성 규격을 만족시키기 위해 요구된다. 본 논문에서의 제어기법은 제어변수는 직류량이고 단지 크기가 제어되는 스칼라 제어(scalar control)기법을 적용하고 있다.

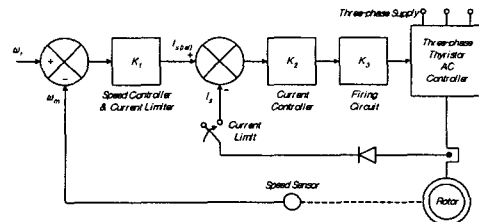


그림 10. 고정자 전압 제어 루프

Fig. 10. Stator voltage control loop

제어시스템은 일반적으로 제어루프의 분류에 의해 특정 지어지며, 여기서 외부루프는 내부루프를 제어한다. 내부루프는 점차 빠르게 실행할 수 있도록 설계된다. 루프는 일반적으로 제한된 명령 행정을 갖도록 설계된다. 그림 10는 고정주파수에서 교류 전압제어기에 의한 유도전동기의 고정자 전압제어의 구성을 나타낸다. 속도제어기, K_1 은 속도오차를 계산하고 기준전류 $I_{s(ref)}$ 를 발생한다. K_2 는 전류제어기이다. K_3 는 다이리스터컨버터의 지연각을 만들며, 내부전류 제한루프는 토크를 간접적으로 제한한다. 전류크랩프회로 대신에 전류제한기는 고장의 경우에 단락회로전류를 제한하는 이점을 갖는다. 속도제어기 K_1 은 간단한 이득(비례형), 비례 적분형 또는 진상-지상 보상기(lead-lag compensator)일 수도 있다.

4. 시스템 제작 및 실험

4.1 호이스트 통합 드라이브 시스템

본 논문에서는 그림 12에 나타낸 것과 같이 주 전원 스위치, 각 운전별 전원회로와 제어·드라이브 회로 그리고 유틸리티 전원 등을 하나의 유닛(unit)으로 통합, 제어하는 호이스트 통합 드라이브 장치를 설계하였다.

그리고 본 장치의 회로구성은 메인 스위치를 거쳐 호이스팅, 주행, 횡행 제어용 전원회로가 병렬로 구성되고, 이 회로의 제어는 하나의 통합제어기에 의하여 각각 드라이브된다. 메인 스위치는 전력용 반도체 스위칭 소자인 다이리스터를 역병렬 접속하여 정지형 스위치형으로 무접점화하여 전원투입·차단과 비상시 자동차단 하도록 제어하고 있다.

그리고, 각 운전별 제어회로에서 호이스팅 제어부는 11[kW], 삼상 권선형 유도 전동기를 직입기동으로 전력용 반도체 스위칭 소자인 다이리스터를 역병렬 접속한 전압 제어기 회로로 무접점화하여 정역제어가 가능하도록 구성하였고, 직류 자기 브레이크(DC magnet break) 장치를 포함하고 있으며, 과전류 검출제어 기능을 가지고 있다. 주행 및 횡행 제어부는 각각 1[kW] 2대, 0.75[kW] 1대의 삼상 권선형 유도 전동기를 전압제어로 전력용 반도체 스위칭 소자인 다이리스터를 역병렬 접속하여 전압 제어기로 무접점화하여 정역운전할 수 있도록 구성하였고, 직류 자기 브레이크 장치를 포함하고 있으며, 위치제어, 과부하 제어, 충돌방지 기능, 유연기동 기능을 갖추고 있다.

또한, 호이스트 외부에서 조명, 외부전원용으로 사용할 수 있도록 주 전원에서 별취하여 220[V] 출력단자를 구성하고 있다. 그리고, 전원회로부와 각 동작별 제어기 및 드라이브는 하나의 온도드화하여 시스템의 체적을 줄이도록 하였고, 과열방지를 위하여 외부에 방열판을 갖추고 있으며 내부에 온도센서와 방열판을 취부하였다

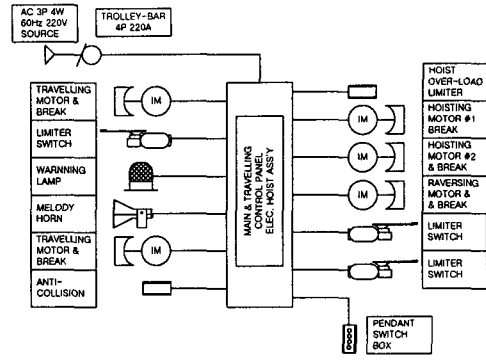
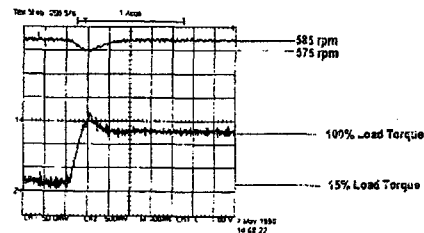


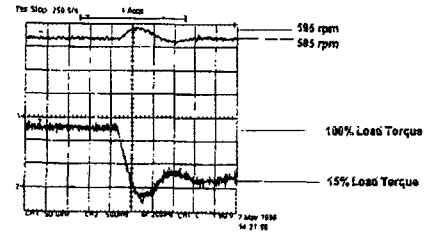
그림 12. 호이스트용 통합 드라이브의 구성
Fig. 12. Configuration of an integrated hoist drive

4.2 프로토타입에 의한 실험

본 논문에서는 호이스트용 통합 드라이브 장치의 제작에 있어 주행용 제어기를 프로토타입(prototype)으로 선정하여 실험을 하였다. 그림 13은 부하토크 변동시의 속도제어 특성을 측정된 파형으로 각각은 부하토크를 (a) 15[%]에서 100[%]로, (b) 100[%]에서 15[%]로 400[ms]의 순간 상승 혹은 하강 시켰을 때의 속도제어 응답을 볼 수 있다. 전동기 속도는 지령속도의 3[%] 범위 내에서 상당히 우수하게 제어되고 있음을 알 수 있다.



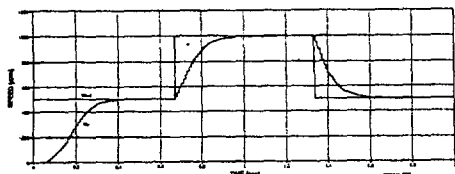
(a) Load torque alteration : 15[%]→100[%]



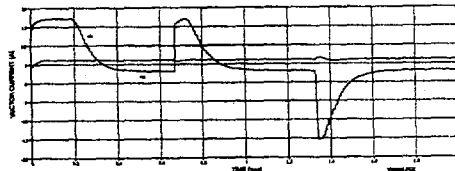
(b) Load torque alteration : 15[%]→100[%]

그림 13. 부하토크 변동시 속도 제어
Fig. 13. Speed control for load torque alteration

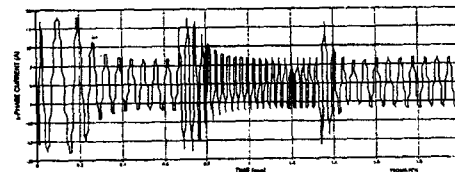
그림 14는 드라이브 장치의 모니터링 파형으로 부하율을 30[%]로 고정시키고 전동기 지령속도를 500[RPM]에서 1000[RPM]으로 상승시켰다가, 다시 500[RPM]으로 하강시켰을 때의 전동기 입력 전류를 측정하였다.



(a) Motor speed



(b) Line current of motor



(c) Phase current of motor

그림 14. 지령 속도변동에 따른 전동기 입력전류
Fig. 14. Motor current for speed alteration

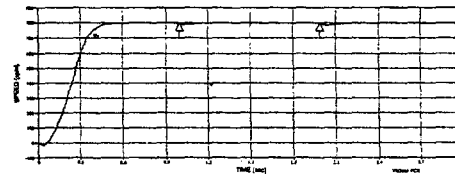
또한 그림 15은 전동기 지령속도를 800[RPM]으로 고정시키고 부하율을 30[%], 50[%], 80[%]로 점차 상승시켰을 때의 전동기 입력전류를 측정한 파형이다. 각각 파형에서 전동기는 탈조하지 않고 정현파상으로 원활히 제어되고 있음을 볼 수 있다.

이상의 실험파형 분석에서 본 논문에서 제작된 호이스트 드라이브 장치는 상당히 우수한 제어특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

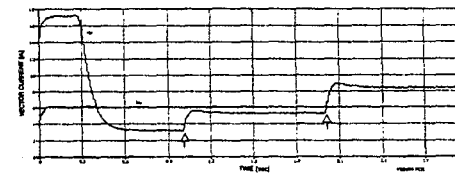
5. 결 론

본 논문의 호이스트용 통합 드라이브 장치의 전원회로는 전력용 반도체 스위칭 소자인 다이리스터를 사용함으로써 무접점 회로화하였고, 제어기는 호이스팅, 주행, 그리고 횡행제어 드라이브 및 전원회로를 하나의 장치로 통합하여 개발하였다.

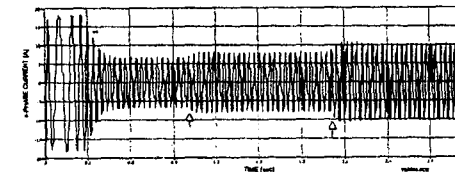
본 통합 호이스트 드라이브 장치는 스위치의 무접점화로 유지보수가 거의 필요 없는 반영구적 장치로 진동에 의한 부품의 이탈, 분리에 의한 사고를 방지할 수 있고, 호이스트 설치시 배선이 간결해지고, 유지보수시 유닛트 블록만 교체하여 간편하며, 호이스트 자체 중량 및 부피를 간소화 할 수 있다. 또한, 제어기의 소프트웨어화로 높은 신뢰성을 가지고 있다. 그리고 고정자 전압 제어법과 감압기동에 의한 유연 기동법을 적용하여 기동 및 운전손실을 줄여 에너지 절약형이라고 할 수 있다.



(a) Motor Speed



(b) Line current of motor



(c) Phase current of motor

그림 15. 부하율 변동에 따른 전동기 입력전류
Fig. 15. Motor current for load alteration

향후, 본 시스템은 전원회로는 세미 인버터 방식으로 대체하여 정지형 슬립 전력변환에 의한 속도 제어 알고리즘을 적용하여 속도-토크 제어 특성을 개선하여야 할 필요성과 대형의 크레인용으로의 적용과 제어용 팬던트 스위치 박스와 LCD 입력 패널, 제어기를 하나로 통합하여 산업용 터치 스크린 입력 시스템에 적용하여 호이스트 및 크레인용 종합 솔루션을 제공할 수 있으리라 기대된다.

본 논문은 한국과학재단 특정기초연구
(No. R01-1999-00227)지원으로 수행되었음.

<< 참고문헌 >>

- [1] 대광서림 편집부, "실용 크레인 편람", 1992
- [2] 대한기계학회, "크레인 기술지침 1", 한국공업진흥청, 1976
- [3] (주)웨이바, "SMARTCON 취급설명서", 1992
- [4] 이근오, 구건호, 이충렬, "호이스트 크레인의 권상로프 자동 수직 조정장치 개발에 관한 연구", 산업안전학회지, Vol.10, No.3, pp.47-55, 1995
- [5] (株)安川電機製作所 編, "インバータドライブ技術", 日刊工業新聞社, 1990
- [6] 배인택, 심규돈, "천정 크레인의 자동제어 시스템에 관한 연구", 대우엔지니어링기술보, Vol.14, pp.162-174, 1992.10.
- [7] DAMS, RM, "Power Diode and Thyristor Circuit", Stevenage, Herts, England: Institute of Electrical Engineers, 1979
- [8] 홍순찬, 원충연 외, "전력전자공학", 회중당, 2판, 1997
- [9] 백수현, 김희준 외, "전력전자공학", 교보문고, 2판, 1997