

전압형 PWM 인버터 제어 고속 엘리베이터 시스템

김 운수 장 철호 이 제필^o 김 정하 엄 용기 송 승봉
금성산전(주)

High-Speed Elevator Controlled by Voltage-Type PWM Inverter

WOON-SOO KIM, CHEOL-HO JANG, JEA-PIL LEE,^o JUNG-HA KIM, YONG-GI EOM, SEUNG-BONG SONG
GOLDSTAR INDUSTRIAL SYSTEMS CO., LTD.

ABSTRACT

To satisfy the requirements of a stable speed control, comfortable ride and precise landing in the high-speed elevator, the induction motor driving elevator is controlled by inverter using vector control method which calculates optimum torque to apply to the induction motor.

This paper describes the control system of high-speed elevator that consists of the voltage-type PWM converter with an unity input power factor and sinusoidal input current and the voltage-type PWM inverter with a precise speed control and sinusoidal output current.

The test results of actual elevator are presented.

1. 서 론

직류전동기로 구동되는 싸이리스터 - 레오나드 엘리베이터의 제어성능이 우수함에도 불구하고 주기적인 보수가 불가피하게 되어 기술적인 개선이 요구되어 왔다. 그러나 유지, 보수가 간편한 유도전동기의 고성능 인버터제어기술이 산업현장에 널리 응용됨에 따라 수직 수송설비인 엘리베이터에 적용시킴으로서 전술한 문제점을 해결할 수 있었으며, 에너지절감 효과와 전원설비 용량 감소, 소형, 경량화 및 신뢰성을 향상시킬 수 있었다. [1] [2] 따라서 근래의 엘리베이터 제어방식은 저속기종에서부터 고속기종에 이르기까지 대부분 인버터 제어방식으로 전환되고 있다.

일반적으로 속도 150 [m/min] 이하의 범위를 저속, 중속엘리베이터, 속도 150 [m/min] - 240 [m/min] 범위를 고속 엘리베이터, 속도 300 [m/min] 이상을 초고속 엘리베이터라고 하며 고속 및 초고속 직접구동방식형 (Gearless Type) 엘리베이터에 있어서는 공범위하고 안정된 속도제어, 정밀한 착상, 안락한 승심을 위하여

고도의 유도전동기 제어기술이 필요하다. 또한 속도가 증가됨에 따라 발생하는 운동에너지의 증가에 상응하는 전기적에너지를 전원측으로 되돌려주는 전력회생기능과 입력고조파가 타기기에 미치는 영향을 감소시키기 위한 정현파 전류제어, 전원설비 용량저감을 위한 역률제어 기능을 갖춘 PWM 컨버터 제어기술이 요구되어 진다.

본 논문은 당사가 개발완료한 고속 직접구동방식형 엘리베이터의 제어시스템에 관한 것으로 고속스위칭용 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)로 전력회로를 구성하였고, 스위칭주파수를 10 [KHz] 로 증가시켜 유도전동기의 소음을 줄이고, 전류제어부를 고속 연산 처리용 DSP (Digital Signal Processor) 와 Gate Array 를 이용하여 Full Digital화하여 입, 출력전류를 정현파로 제어하는 전압형 PWM컨버터와 인버터로 구성하였다. 당사의 시험탑에서 시험한 실제 엘리베이터의 운전상태에 따른 실험결과를 제시하였다.

2. 시스템 구성

그림1은 직접 구동방식형 고속 엘리베이터의 시스템 구성도를 나타낸다. 제어시스템은 크게 운전제어부, 컨버터제어부, 인버터제어부, 전력회로 및 기계부로 구성된다.

운전제어부는 승객의 부름등록에 따라 컨버터 기동 지령과 유도전동기의 속도지령을 발생시키고 인크리멘탈 모터리 엔코더로부터 엘리베이터 케이지(CAGE)의 위치정보를 입력받아 감속처리를 행하고 각종 안전회로의 이상유, 무를 검출하는 역할을 한다. 컨버터제어부는 입력전압의 위상을 검출하여 모터링 모드 (Motoring Mode)시에 역률을 "1"로, 회생모드 (Regenerating Mode)시에 역률을 "-1"이 되도록 전류를 제어함과 동시에 직류전압을 일정하게 유지시킨다. 인버터제어부는 운전제어부로부터 입력된 속도지령과 고분해능 레졸버로부터 검출한 피이드백 신호의 오차에 해당하는 유도전동기의 토오크지령치를 연산하여 속도제어와 전류제어

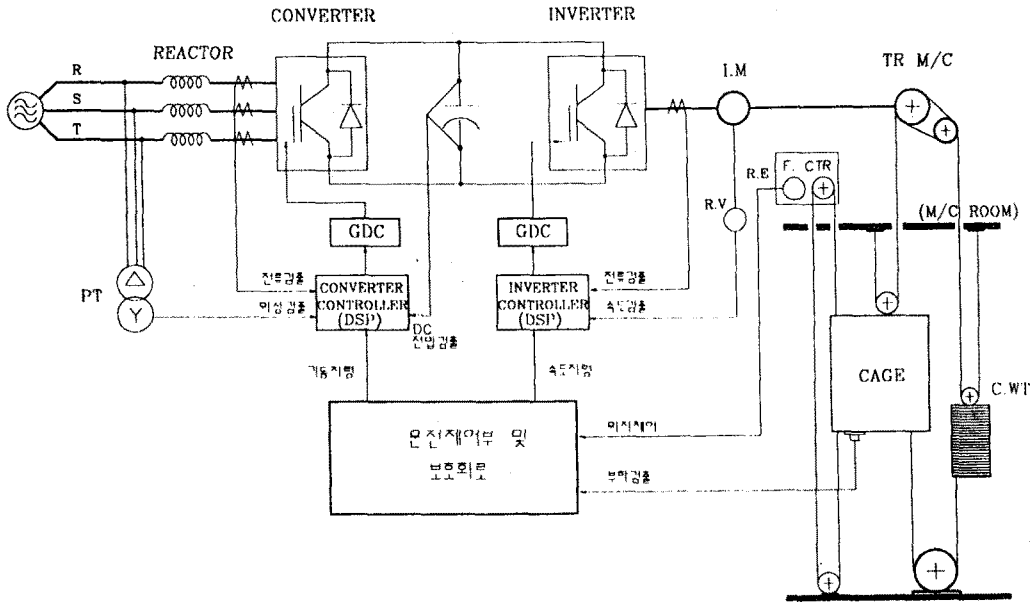


그림1. 고속 직접구동방식 엘리베이터 시스템 구성도.

를 행하고, 기동시 진동을 방지하기 위하여 엘리베이터 캐이지의 하중을 검출하여 토오크지령을 보상한다.

유도전동기의 전자기소음을 줄이기 위하여 고속 스위칭용 전력반도체 소자인 IGBT를 이용하여 전력회로부를 구성함으로써 스위칭주파수를 증가시켰으며, 종래의 감속기형(Geared type) 엘리베이터의 저효율 문제때문에 감속기가 없는 직접구동방식형(Gearless type)으로 기계부를 구성하여 기계계의 효율을 높였다.

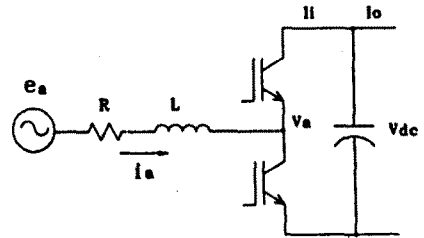


그림2. 컨버터 구성도(1상).

3. 제어회로

3.1 컨버터제어

3.1.1 전압제어

그림2는 3상중 1상의 컨버터 구성도를 나타내며 그림 3은 제어블록도를 나타낸다. 컨버터는 전원측에 연결된 교류리액터에 의해 직류측 전압을 승압시키고 엘리베이터의 운전상태에 관계없이 전압기준값과 직류전압 검출값을 입력하여 전압제어기에 의해 항상 일정하게 제어된다.

3.1.2 역률제어 원리

전압, 전류를 그림2와 같이 정의하면 전압방정식은 식 (1)로 표현된다. [3] [4]

$$e_a = R \cdot i_a + L \cdot p i_a + v_a \quad (1)$$

$$e_b = R \cdot i_b + L \cdot p i_b + v_b$$

$$e_c = R \cdot i_c + L \cdot p i_c + v_c$$

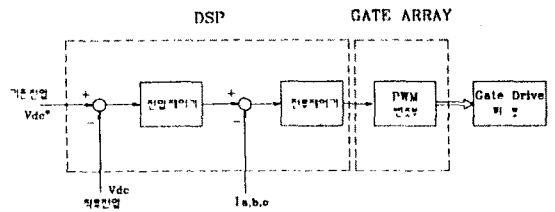


그림3. 컨버터제어 구성도.

전력관계는

$$\begin{aligned} P_i &= v_a \cdot i_a + v_a \cdot i_b + v_a \cdot i_c \\ &= P_o \\ &= V_{dc} \cdot I_i \end{aligned} \quad (2)$$

$$V_{dc} = \int (I_i - I_o) / C \quad (3)$$

와 같다. 식(1)을 d-q 회전 좌표계상으로 표현하면

$$\begin{bmatrix} E_d \\ E_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+Lp & -\omega L \\ \omega L & R+Lp \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$: p = d/dt$$

로 표현된다. q축 전압을 전원전압 방향으로 놓으면 $E_d = 0$ 이 되고 식(4)를 다시 표현하면 식(5)와 같다.

$$V_d = \omega L_l i_q - (R+LP) i_d \quad (5)$$

$$V_q = -\omega L_l i_d - (R+LP) i_q + E_q$$

역률이 "1" 이 되려면 무효 전류성분, $i_d = 0$ 이어야 하기때문에 $V_d = \omega L_l i_q$ 가 되도록 제어함으로써 역률 제어를 실현할 수 있다.

그림4는 정상상태의 페이저도를 나타낸다.

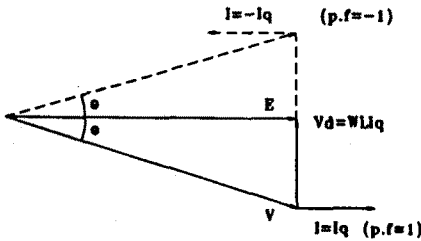


그림4. 정상상태시 페이저도.

3.2 인버터제어

3.2.1 벡터제어 이론

유도전동기를 직류전동기와 같이 정밀한 제어수단으로 벡터제어가 이용되어 왔다. 유도전동기의 전압방정식을 동기속도로 회전하는 회전좌표계로 나타내면 식(8) - 식(9)와 같다.

$$V_{ds} = r_s \cdot i_{ds} + p \phi_{ds} - \omega_e \cdot \phi_{qs} \quad (8)$$

$$V_{qs} = r_s \cdot i_{qs} + p \phi_{qs} + \omega_e \cdot \phi_{ds} \quad (7)$$

$$0 = r_r \cdot i_{dr} + p \phi_{dr} - (\omega_e - \omega_r) \phi_{qr} \quad (8)$$

$$0 = r_r \cdot i_{qr} + p \phi_{qr} + (\omega_e + \omega_r) \phi_{dr} \quad (9)$$

윗식에서 r_s, r_r 은 고정자저항과 회전자저항이며 ω_e 는 고정자 동기속도, ω_r 은 회전자의 전기적 각속도를 나타낸다.

다시 고정자 자속과 회전자 자속은 다음과 같이 표현된다.

$$\phi_{qs} = L_m \cdot i_{qr} + L_s \cdot i_{qs} \quad (10)$$

$$\phi_{ds} = L_m \cdot i_{dr} + L_s \cdot i_{ds} \quad (11)$$

$$\phi_{qr} = L_r \cdot i_{qr} + L_m \cdot i_{qs} \quad (12)$$

$$\phi_{dr} = L_r \cdot i_{dr} + L_m \cdot i_{ds} \quad (13)$$

식(8), (9), (12), (13)들로부터 분리제어가 가능하도록 회전자 자속을 다음식과 같이 놓을 수 있고

$$\phi_{qr} = 0 \quad (14)$$

$$\phi_{dr} = \phi_r = \text{일정} \quad (15)$$

결국 식(10)과 같은 슬립을 만족시킴으로서 전동기의 토오크는 식(18)과 같이 토오크성분 전류와 자속성분 전류로 표현된다.

$$\omega_{sl} = \frac{L_m}{\phi_r} \frac{r_r}{L_r} \cdot i_{qs} \quad (16)$$

$$\phi_r = L_m \cdot i_{ds} \quad (17)$$

$$T_e = \frac{3 \cdot P}{4} \frac{L_m}{L_r} \cdot i_{qs} \cdot \phi_r \quad (18)$$

$$: \omega_{sl} = (\omega_e - \omega_r)$$

3.2.2 제어기 설계

그림5는 인버터제어 블록도를 나타낸다. 중태 인버터제어 엘리베이터에서 유도전동기의 벡터제어를 포함한 속도제어는 디지털 프로세서로 처리되었지만 전류제어부와 PWM 발생부는 아날로그 연산증폭기 및 비교기로 구성되었다.

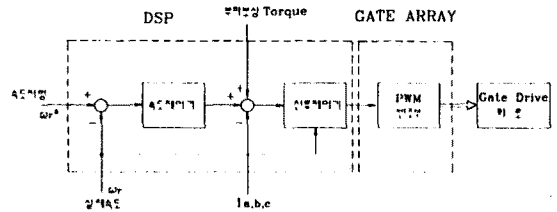


그림5. 인버터제어 구성도.

본 엘리베이터의 전류제어부와 PWM발생부는 고속처리 연산용 DSP와 Gate Array를 사용하였고 중태 교류 전류 지령에 의한 아날로그 전류제어기의 기준전류 추종성을 개선하기 위해서 유도전동기의 3상 교류전류를 2상으로 변환하고, 속도제어연산에 의한 토오크전류성분과 여자 전류성분을 회전좌표계상에서 연산하여 주파수특성에 따른 진폭과 위상편차를 제거시켰다. 그러므로 전류제어 루프의 계인을 필요이상으로 높게 설정할 필요가 없고 고정밀 안정한 제어가 가능하게 되었다.

그리고 복잡한 기계계를 포함하는 엘리베이터 시스템에서 승심지에 악영향을 미치는 공진점이 존재하고

이 공진점은 제어계를 불안정하게 한다. 인버터의 경우 전력회로의 ARM 단락방지를 위해 설정한 Dead Time 이 전동기에 토오크 리플을 발생시켜 엘리베이터의 케이지 (Cage) 진동을 야기시키는 가진원이 되므로 Dead Time 을 보상하여 토오크리플을 감소시켰다. 또한 전동기에서 발생하는 토오크리플 주파수는 전동기의 회전수에 따라 변화하기 때문에 속도제어 루프에 특정주파수의 토오크 리플을 제거시키는 필터를 넣어 기계계의 공진을 감소 시킴으로서 엘리베이터 케이지의 진동을 억제시켰다.

4. 엘리베이터 운전특성 및 실험결과

당사가 개발한 고속 직접구동방식 엘리베이터의 제어 특성을 확인하기 위해서 실제 엘리베이터를 시험탑에 설치하여 시험하였다.

시험한 고속 직접구동방식 엘리베이터의 시스템사양은 다음과 같다.

- 1) 엘리베이터 정격속도 : 240 [m/min]
- 2) 정격 적재하중 : 1800 [Kg]
- 3) 유도전동기 : 50 [Kw], 8Pole, 400 [V]
- 4) 정격회전수 : 215 [rpm]

그림8, 7은 입력전원 전압과 전류를 나타내는 것으로 그림8은 모터링 모드, 즉 무부하 하강 또는 전부하 상승 운전시의 입력전원 전압과 전류를 나타낸다.

입력전류가 전압과 동상으로 제어됨으로서 역율이 1로 되어 전기적인 에너지가 입력전원측에서 컨버터, 인버터를 거쳐 유도전동기에 전달되고 기계적인 에너지로 변환됨을 알 수 있다. 그러나 그림7에 나타난바와 같이 모터링모드와 반대의 경우인 회생모드, 즉 무부하 상승 또는 전부하 하강시의 입력전압과 전류의 위상은 180°로 되어 기계적인 에너지가 인버터, 컨버터를 거쳐 전기적인 에너지로 변환되어 입력전원측으로 공급되어진다. 그러므로 입력측에는 항상 유효전류만 흐르게되어 전원설비 용량이 종래 사이리스터 레오나드 (Thyristor Leonard) 엘리베이터에 비해 30 [%] 정도 감소된다.

엘리베이터 운전시 실제속도, 전동기 입력전류 및 입력 전원전류를 무부하 상승시 그림8에, 무부하 하강시 그림9에 나타내었으며, 그림10은 엘리베이터의 진동을 나타낸다. 엘리베이터의 평균 가.감속도는 $0.8 [m/sec^2]$, 가속시간은 약 $5.7 [sec]$ 로 설계되었고 안정된 가.감속 특성을 얻을 수 있었다.

회전표계계상에서 유도전동기 전류를 제어하기 때문에 특히 승심지에 크게 영향을 미치는 기동직후와 정지 직전에 토오크리플이 없는 우수한 운전특성을 얻었다.

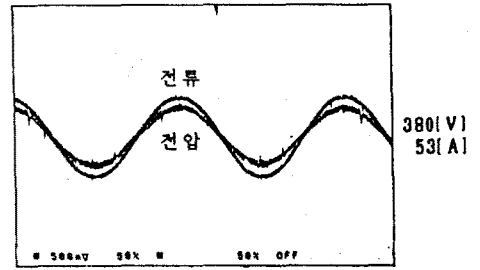


그림6. 모터링모드시 입력전압, 전류파형.

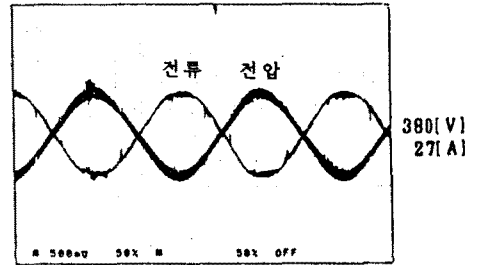


그림7. 회생모드시 입력전압, 전류파형.

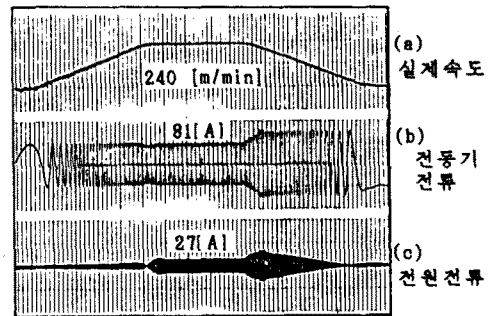


그림8. 무부하 상승시 운전특성.

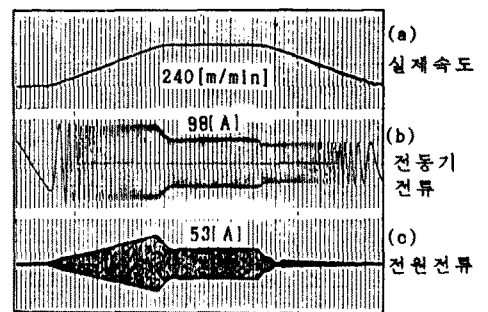


그림9. 무부하 하강시 운전특성.

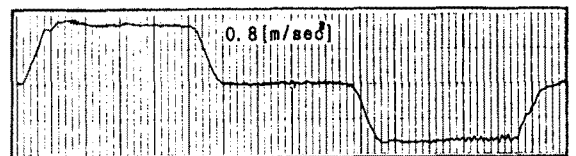


그림10. 엘리베이터 케이지(Cage) 진동.

5. 결 론

참 고 문 헌

전압형 PWM 인버터제어 고속 직접구동방식 엘리베이터 시스템을 제안하였으며 실제 엘리베이터의 운전특성에 따른 실험결과를 통해 그 특성의 우수함을 입증하였다.

본 고속 직접구동방식 엘리베이터의 특징을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- 1) 역률제어 및 전력회생기능.
- 2) 에너지절감 효과증대 및 전원설비 용량감소.
- 3) 입력전원 고조파 함유율 5[%] 이내.
- 4) DSP이용 고속 벡터연산 및 Full Digital 방식에 따른 정밀제어.
- 5) 고속 스위칭용 전력반도체인 IGBT를 이용하여 캐리어 주파수를 10[Khz]로 증가시킴에 따른 유도전동기의 자기소음 감소.
- 6) 직접구동방식으로 인한 기계계 효율증대.
등을 특징으로 정확한 착상 및 안락한 승심지를 제공한다.

고층 건물화추세에 따른 시장니즈(Needs)에 부응하기 위해, 추후 고정밀 초저속도 제어기술 및 진동억제 기술축적에 중점을 두어, 속도300[m/min]이상의 초고속 직접구동방식 엘리베이터를 개발할 예정이다.

1. Y.Usui, A.Lijima and Y.Ogawa, "Inverter Controlled Gearless Elevator", Toshiba Review, 1989, pp.736-739
2. M.Nakazato, N.Mitsui and M.Honbu, "High - Speed Elevators Controlled by Sinusoidal Current Source Inverters", IEEE-PESC Conf. Rec., 1987, pp.860-866
3. H.Sugimoto, S.Morimoto and M.Yano, "A High Performance Control Method of a Voltage-Type PWM Converter ", IEEE-PESC, 1988, pp.360-368
4. R.Wu, S.B.Dewan and G.R.Siemon, "A PWM AC to DC Converter with Fixed Switching Frequency", IEEE- IAS Conf. Rec., 1988, pp.706-711
5. H.Inaba et al., "A New Speed Control System for DC Motors Using GTO Converter and it's Application to Elevators", IEEE-IA, 1985, Vol. IA-21, No. 2