

## DC 기어리스 高速엘리베이터의 制御 改修

최근 승강기의 현대화 사업에서는 단공기(短工期)·저가격으로 특히 신뢰성 향상을 기대할 수 있는 제어개수(制御改修: 전기기기를 일신하는 개수방법)가 주류를 이루고 있다.

그래서 미쓰비시(三菱)電機에서는 납품한지 20년 이상 경과한 직류-기어리스(DC-GL) 고속엘리베이터를 대상으로 하는 제어개수전용의 구동방식을 개발하여 동사 본사빌딩에 납품하였다.

새로운 구동방식은 현재 널리 적용되고 있는 고속엘리베이터의 인버터제어기술을 응용하여 개발한 초퍼회로방식이다. 제어회로에서는 동사의 최신 엘리베이터와 같은 마이컴시스템을 채용하여 고성능화와 부품의 공용화를 도모하였다. 또한 주회로에는 고조파대책, EMI(Electro-magnetic Interference) 대책 및 누설전류대책을 시행하였다. 특히 직류전동기의 계자 제어에서는 엘리베이터의 운전상태에 따라 계자전류를 가변하는 가변계자전류제어를 적용하였다.

이번에 개발한 제어방식은 다음의 특징을 갖고 있다.

- ① 고조파전류를 억제하였기 때문에 빌딩층에서의 고조파대책이 불필요하다.
- ② 동사 제작의 워드레오나드방식과 비교하여 약 40% 정도 소비전력을 감소시킬 수 있다.
- ③ 동사 제품인 최신 엘리베이터 수준의 성능(승차감, 착상정도 등)을 실현하였다.
- ④ 최신 엘리베이터와 동등한 풍부한 옵션에 대응할 수 있다.

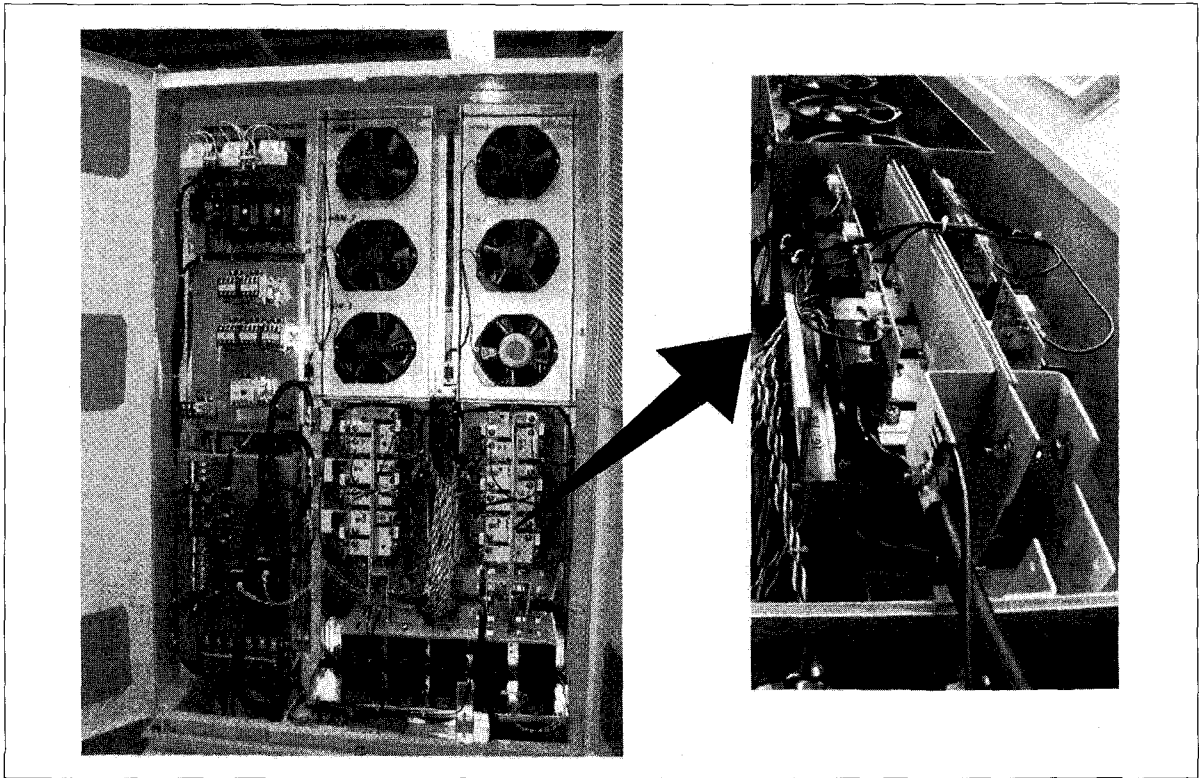
당분간은 속도 120~360m/min, 용량 1,600kg 이하의 고속엘리베이터에 적용하고 점차적으로 적용영역을 확대해 나갈 예정이다.

### 1. 머리말

이제까지는 직류엘리베이터를 제어 개수(制御改修)하는 데 사이리스터 레오나드방식을 적용하여 왔다. 그러나 사이리스터 레오나드방식은 기설의 워드레오나드방식에 비하여 고조파전류가 커서 경우에 따라서는 빌딩의 음향시설 등에 영향을 미치는 등 고조파장해가 심각한 문제로 작용하는 경우가 있었다. 그래서 미쓰비시電機에서는 이들 문제를 해결하는 제어방식의 개발이 요구되어 왔다.

한편 최근의 산업계에서는 인버터방식이 널리 사용되면서 고속스위칭이 가능한 고내압·대전류의 제어소자(IGBT), 고속 디지털프로세서가 비교적 값싸게 공급되고 있다.

이와 같은 배경을 바탕으로 동사에서는 인버터기술에서 배양한 PWM(Pulse-Width Modulation) 제어기술을 응용하여 동사의 최신 고속엘리베이터 수준의 성능을 갖춘 고조파장해문제를 해결할 수 있는 제어개수전용의 제어방식을 개발하였다.



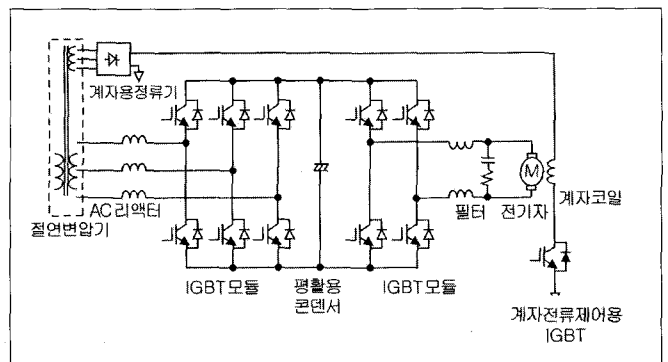
〈파워유닛의 외관〉

이번에 개발한 초퍼유닛 및 컨버터유닛의 외관(왼쪽 사진)이다. 사이즈는 각 유닛 (H)1,000mm×(W)220mm×(D)300mm이다. 초퍼유닛은 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 병렬로 접속한 H자형 구성으로 하고, 유닛의 하부에 전해콘덴서를 배치하여 콤팩트화를 도모하였다. 또 배선은 라미네이트버스를 적용하여, 직류모선을 대향배치(오른쪽 사진)함으로써 배선인덕턴스의 저감을 도모하였다.

## 2. 回路方式

### 가. 컨버터와 초퍼의 回路構成

주회로의 구성을 그림 1에 표시한다. 주(主)변환기는 PWM컨버터회로와 초퍼회로로 구성하였다. 절연변압기로 강압된 3상교류전원은 PWM컨버터 회로에서 일정전압의 직류전원으로 변환된다. 또한 초퍼회로에서 가변의 직류전압으로 변환되어 필터회로를 통하여 직류전동기에 급전된다. 컨버터회로 및 초퍼회로의



〈그림 1〉 주회로의 구성

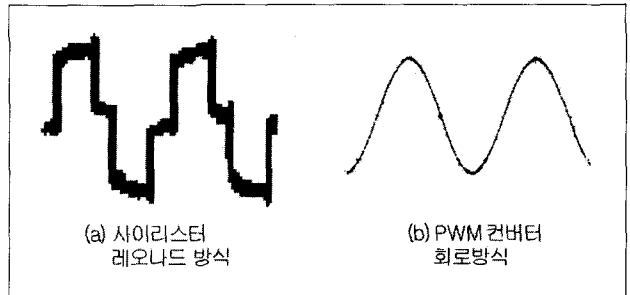
스위칭소자에는 고속·고내압·대전류의 IGBT모듈을 병렬 접속하여 적용하였다.

초퍼회로는 H자형의 회로구성으로 하여 정전(正轉) 운전과 역전(逆轉) 운전 및 역행과 회생운전의 4상한(象限) 운전이 가능하다. 또 직류전류가 흐르기 때문에 교류전류가 흐르는 인버터회로에 비하여 IGBT의 온도상승이 커진다. 그래서 열방산(熱放散) 효율이 높은 히트파이프를 적용하여 유닛의 소형화를 도모하였다. 앞페이지에 PWM컨버터와 초퍼회로의 외관을 표시한다. 좌측의 유닛이 PWM컨버터회로 유닛이고 우측이 초퍼회로 유닛이다. 각 유닛의 하부에 평활용 전해콘덴서를 실장하여 콤팩트화를 도모하였다. 각 유닛은 직류모선을 대향(對向) 배치한 라미네이트버스바로 병렬접속한 구성으로 되어 있다. 이 구성으로 스위칭시에 발생하는 서지전압을 최대한 억제하였다. 또 히트파이프의 상부냉각부에는 강제풍냉방식을 적용하였다.

#### 나. 高調波電流의 低減

PWM컨버터회로는 동사의 인버터제어를 적용한 고속엘리베이터에서 이미 실적이 있는 회로방식이다. 입력측의 전류파형이 정현파가 되도록 전류를 제어하여 교류전원 전류에 포함되는 고조파 함유율을 대폭적으로 저감시키고 있다. 그림 2는 종전의 사이리스터 레오나드방식과 PWM컨버터회로방식의 교류전원 전류의 파형을 비교한 것이다. 그림에 표시된 것과 같이 사이리스터 레오나드방식에서는 전류파형이 구형파로 되어 있어 약 20%의 고조파전류성분이 포함되어 있다. 이에 대하여 PWM컨버터회로방식에서는 전류파형이 거의 정현파로 되기 때문에 고조파전류성분을 대폭 저감시킬 수 있었다. 따라서 빌딩의 수전설비측에서의 고조파전류대책이 불필요하게 된다.

또한 PWM컨버터회로방식은 입력측의 전류의 역률



〈그림 2〉 전원전류파형

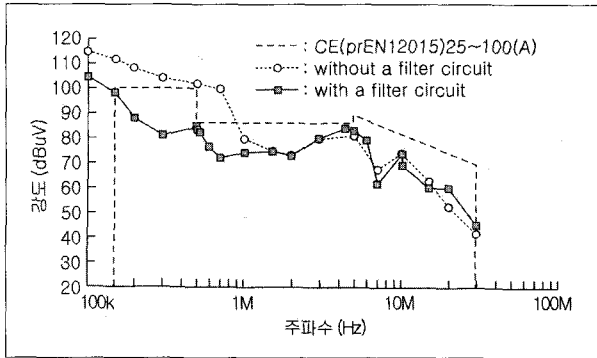
( $\cos \theta$ )을 역행운전시는  $\cos \theta \approx 1$ 로, 회생운전시는  $\cos \theta \approx -1$ 로 제어한다. 즉 역률은  $\cos \theta \approx 1$ 로 제어되고 있기 때문에 사이리스터 레오나드방식에 비하여 전원설비용량을 약 20~30% 저감시킬 수가 있었다.

#### 다. 磁氣騷音의 低減

사이리스터 레오나드방식에서는 전기자(電機子) 전류에 전원주파수의 6배(300Hz 또는 360Hz)의 리플성분이 포함되어 있다. 이 리플전류에 의해 전동기에서 자기소음이 발생하여 귀에 거슬리는 소리가 난다. 반면에 초퍼회로방식에서는 PWM 변조주파수를 5kHz로 하여 초퍼회로의 H자형 4개 암 모두를 동시에 변조하는 제어방식으로 하여 전동기에 흐르는 리플전류의 주파수를 변조주파수의 2배인 10kHz로 하였다. 따라서 전동기에서 발생하는 자기소음도 거의 거슬리지 않을 정도로 작게 할 수 있었다.

#### 라. EMI 대책

PWM컨버터 회로방식에서는 IGBT가 스위칭할 때 서지전압이 발생하여, 노이즈로서 전원계통을 통하여 다른 기기에 영향을 주는 경우가 있다. 그래서 이번에 입력측에 필터회로를 설치함으로써 노이즈를 충분히 작게 할 수 있었다. 그림 3에 필터회로의 유무에 따른 노이즈의



〈그림 3〉 EMI 특성

비교측정결과를 나타내었다.

### 마. 누설電流 대책

PWM변조방식을 적용한 초퍼회로방식에서는, 위드레어나드방식에 비하여 고주파로 스위칭하고 있기 때문에 누설전류가 커진다. 누설전류는 접지선에 노이즈전압을 유기하기 때문에 같은 전원계통에 접속된 기기(특히 빌딩내의 음향관련기기)에 영향을 미치는 경우가 있다. 그 대책으로 PWM컨버터회로의 입력측에 절연변압기를 설치함으로써 누설전류는 실측치 십수mA로 대폭 저감되었다. 따라서 엘리베이터에서 발생하는 누설전류가 빌딩내의 다른 기기에 영향을 주는 일은 거의 없으리라 생각된다.

## 3. 서지電壓 대책

스위칭소자에 의해 구동되는 전동기는 그 단자 간에 서지전압이 인가된다. 그 서지전압의 크기에 따라서는 전동기의 절연내력을 넘어 절연파괴를 일으키는 경우가 있다. 특히 IGMТ는 스위칭시간이 0.1μs 이하로 짧아 서지전압도 커져 직류모션전압의 약 2배 정도까지 이르는 경우도 있다. 또한 기설 전동기는 경시적(經時的)으로 절연내력이 저하되는 것도 예상할 수 있는데 현재로서는 절

연저하의 정도를 예측하는 것이 기술적으로 곤란하다. 그래서 이번에는 서지전압을 최대한 억제하는 대책을 시행하였다.

이하에 서지전압의 발생메커니즘에 대하여 설명한다. IGBT가 스위칭할 때에 전압이 가파르게 변화한다. 이 가파른 전압의 변화로 출력케이블과 전동기의 전기자권선으로 형성되는 회로에서 전압의 공진현상이 일어난다. 그 결과 전기자권선의 입력단에 서지전압이 발생한다.

가파르게 상승하는 서지전압이 전기자권선에 인가되면 입력단의 턴 간에 전위가 집중되어 턴 간의 절연을 파괴할 염려가 있다. 그래서 초퍼회로의 출력단에 L-C-R형 필터회로를 접속하여 서지전압의 상승시간을 길게(1μs 이상) 함과 동시에 서지전압의 파고치도 억제하였다.

### 가. 서지電壓의 시뮬레이션

필터회로의 정수(定數)와 서지전압의 크기의 관계를 조사하기 위하여 시뮬레이션을 하였다. 모델은 그림 4에 표시하는 것과 같이 분포정수회로로 하였다.

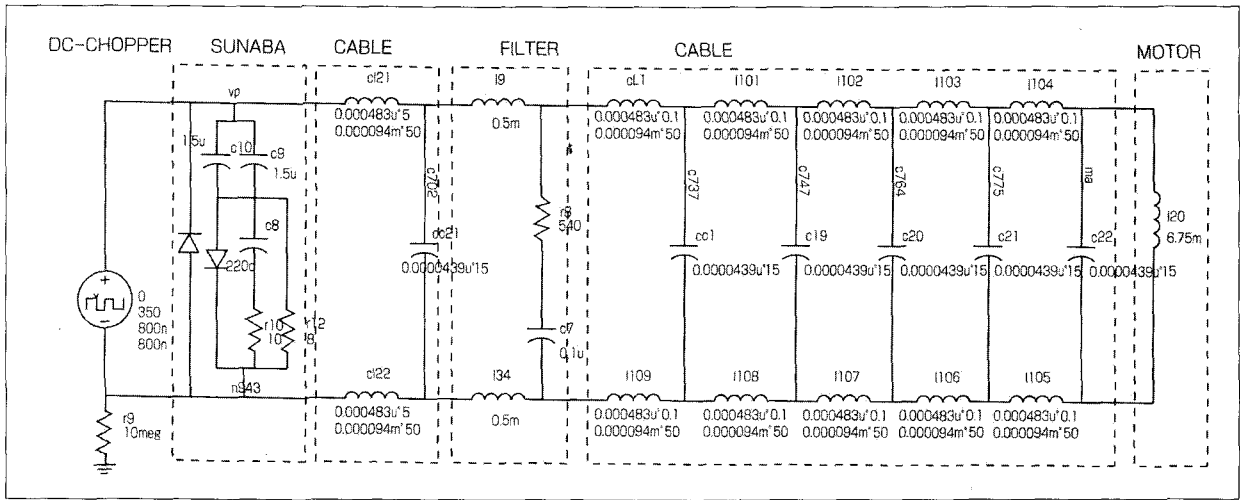
○ 모델회로 구성

- 필터정수 : L=1mH, R=500Ω, C=0.1μF
- 모터정수 : L=6.75mH, R=0.0972Ω
- 케이블 길이 : 30m
- 입력신호 : 펄스
- 스위칭주파수 : 10kHz
- 인가전압 : 350V

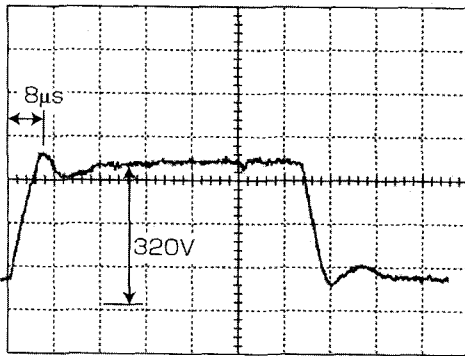
이 결과에서 필터회로의 최적정수를 결정하였다.

### 나. 서지電壓의 實測值

그림 5는 IGBT가 도통했을 때의 전기자권선의 입력 단자간에 발생하는 서지전압의 파형이다. 서지전압의 피크치를 직류모션전압(350V)의 약 1.05배로 억제할 수가 있었다. 또 상승시간도 약 8μs로 길어서 전기자권선의 입



〈그림 4〉 회로모델



〈그림 5〉 서지電壓波形

이 주회로전압에 비하여 낮기 때문에 전원을 독립적으로 설치함과 동시에 PWM전류제어를 적용하여 회로의 정지화(靜止化)를 도모하였다.

### 가. 速度制御

속도제어의 구성은, 전동기의 축단에 부착된 펄스발생기로 전동기의 회전수를 검출하여 Main Feedback 루프를 형성하는 구성으로 하였다. 또한 전류검출기로 전동기의 전기자전류를 검출하여 Minor Feedback 제어루프를 구성하여 고정도(高精度) 속도제어를 실현하였다. 또 모델규범(規範)제어의 적용으로 고속응답의 실현과 특히 진동억제연산을 병용함으로써 보다 부드러운 승차감이 나도록 할 수 있었다.

### 나. 界磁制御

직류전동기의 계자제에서는, 엘리베이터의 운전상태(가속, 일정속도, 감속) 및 승강기내 부하에 따라 계자전류의 최적화를 기하는 가변계자전류 제어를 적용하였다.

## 4. 制御方式

제어회로는 PWM컨버터제어, 초퍼제어 및 계자제어로 구성되어 있다. 계자제어회로는 계자코일의 정격전압

이 가변계자전류 제어는 계자코일의 온도상승을 억제함과 동시에 전기자전류에 의한 브러시의 마모를 억제할 수가 있다. 계자코일의 온도상승은 이 제어를 적용하지 않는 경우에 비하여 실측치로 10~15°C 억제할 수 있었다. 또 직류전동기의 출력토크( $T_m$ )는 일반적으로 다음 식으로 나타낸다.

$$T_m = P \cdot M \cdot I_f \cdot I_a$$

여기서 P : 극대수

M : 상호인덕턴스

$I_f$  : 계자전류

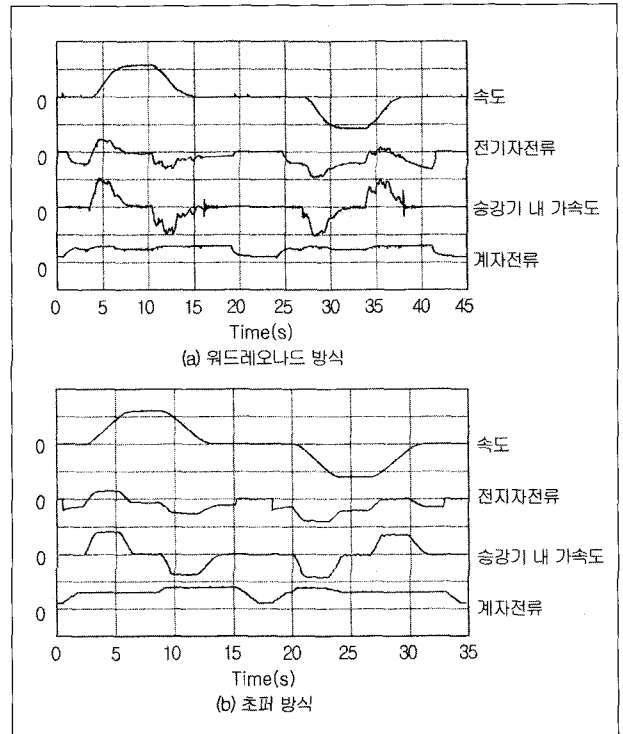
$I_a$  : 전기자전류

따라서 주행중에 계자전류를 변화시키면 전동기의 출력토크가 변동하여 엘리베이터의 승차감에 영향을 준다. 그래서 계자전류와 전기자전류를 같은 마이컴으로 제어하도록 제어회로를 구성하여 계자전류의 값에 따라 전기자전류지령치를 산출하는 제어정수치를 변화시키도록 하였다. 이렇게 함으로써 엘리베이터의 주행중에 계자전류를 변화시켜도 전동기의 출력토크는 일정하게 유지할 수 있어 안정된 승차감을 얻을 수가 있었다.

## 5. 走行性能

위드레오나드방식과 초퍼회로방식에 대하여 동사 시험탑에서 전부하로 주행하였을 때의 속도와 가속도파형을 그림 6에 표시하였다. 최신의 인버터제어 고속엘리베이터와 같은 순조로운 가속도파형을 얻고 있으며 기설 위드레오나드방식(MG방식)에 비하여 대폭적으로 승차감을 개선할 수가 있었다.

또한 가버너에 설치한 펄스발생기에 의해 승강기의 위치를 0.5mm 이하의 精度로 검출하여 속도패턴을 보정하도록 하였다. 그 결과 착상정도(着床精度)를 대폭 향상시킬 수 있었다.



〈그림 6〉 제어특성

## 6. 맺음말

이상 DC-GL 고속엘리베이터의 제어개수용의 기종으로 초퍼회로를 적용한 신구동방식에 대하여 기술하였다.

현재 일본 국내에는 20~30년 경과한 DC-GL 고속엘리베이터가 많이 가동되고 있으므로 이번에 개발한 제어방식이 많이 적용될 것으로 생각하고 있다. ㄴ

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.