

# 비접촉 전력전송방식을 이용한 엘리베이터 카 보조 전원시스템

(Elevator's Car Auxiliary Power System using the Contactless Power Transmission Method)

임용규\* · 노성찬 · 김수홍 · 김지민 · 김윤호

(Eung-Kyu Lim · Sung-Chan Rho · Soo-Hong Kim · Ji-Min Kim · Youn-Ho Kim)

## 요 약

본 논문은 다중권선의 비접촉 변압기를 이용한 비접촉 전력공급 방식을 제안한 논문이다. 논문에서 제안한 전력 공급 방식은 엘리베이터 카에 신뢰성 높은 전력을 전송하기 위하여 공진주파수 추적 기법을 사용하였다. 제안된 시스템을 검증하기 위하여 ICAP4와 Maxwell을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 5[kW]급 비접촉 전력전송시스템을 제작하여 실험을 수행하였다.

## Abstract

In this paper, we have proposed contactless power supply method using the contactless transformer with multiple primary winding. Also, the system uses resonant frequency tracking method for safe power supply at the elevator's car. The proposed system has been verified by the simulation using ICA4 and Maxwell. The contactless power transmission system is designed for 5[kW] rate.

Key Words : Contactless Power Supply, Series resonant inverter, Phase-Lock-Loop

## 1. 서 론

엘리베이터는 이동하는 카에 사람 또는 화물을 탑승하고 이를 전동기를 사용하여 견인하는 운송장치이다. 엘리베이터는 견인 전동기에 로프를 연결하여 엘리베이터 카를 견인하는 방식을 주로 사용하고 있다. 또한 카 내부에는 조명설비, 공조설비, 제어장치 등이 존재하여 이동하는 카 내부에 안정된 전원의

공급이 필요하다. 지금까지는 엘리베이터 카 내부에 조명과 공조설비, 제어설비를 위하여 제어룸에서 케이블을 이용하여 직접 전원을 공급하는 방식을 주로 사용하고 있다. 이러한 방식을 사용할 경우 이동하는 카에 전원 케이블과 제어케이블 등을 매달고 다니는 형태로 설비가 복잡하고, 이로 인한 고장발생이 우려된다. 따라서 엘리베이터 카에 사용되는 전원과 제어설비를 비접촉식 전원설비와 무선 제어방식을 사용할 필요가 있다. 본 논문에서는 이동하는 엘리베이터 카에 조명을 비롯한 각종 부대설비에 사용되는 전원을 비접촉 전원장치를 사용함으로써 엘리베이터의 시설을 단순화 시키고, 유지보수 간소화를 이루고자 한다. 이를 위하여 비접촉 전원장치에 사

\* 주저자 : 중앙대학교 전기전자공학부 박사과정

Tel : 031-383-4141, Fax : 031-385-4140

E-mail : eklim@hangisool.co.kr

접수일자 : 2007년 10월 5일

1차심사 : 2007년 10월 9일, 2차심사 : 2007년 11월 21일

심사완료 : 2007년 12월 14일

용되는 고주파 공진형 인버터와 비접촉 변압기를 설계하고, 이를 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하고자 한다.

## 2. 비접촉 전원장치

비접촉 전원시스템이란 전력을 공급하는 유도결합의 원리를 사용하여 에너지를 전달하는 장치로 선형유도 변압기, 인버터 등으로 구성되어 있다. 선형유도 변압기는 공극에 의하여 1차측과 2차측이 기계적으로 분리되어 있으며, 수십에서 수백미터에 이르는 긴 1차권선과 그 일부를 2차권선이 결합하는 형태를 가지고 있다. 선형유도변압기의 1차측 권선은 일반적으로 코어를 사용하지 않는 공심으로 이루어져 있으며, 에너지 전송효율을 증대시키기 위하여 고주파 인버터와 연결되어 있다. 비접촉 전원장치에 사용되는 인버터는 에너지 전력변환 효율을 증대시키기 위하여 공진형 인버터를 사용하였으며, 결합계수가 낮은 비접촉 변압기의 유효 에너지 전력전송효율을 증대시키기 위하여 공진주파수와 스위칭 주파수가 동일하게 동작할 수 있도록 제어하였다. 따라서 이동하는 부하에 기계적으로 분리된 변압기를 통하여 전력을 전송함으로써 부하가 이동하면서 비접촉 변압기의 공극이나 결합계수의 변화로 인하여 공진 인덕턴스의 변화가 발생할 수 있다. 공진 주파수가 변화하면 인버터는 영전류 스위칭을 할 수 없게 되어 에너지 변환효율이 낮아진다. 따라서 이러한 단점을 개선하기 위하여 공진 주파수 추적하여 제어함으로써 변화하는 공진 주파수에 따라 스위칭 주파수도 함께 변화시킴으로써 전력변환 효율을 극대화 하는 방

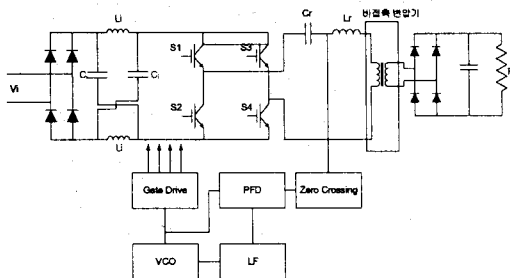


그림 1. 비접촉 전력전송 시스템 구조  
Fig. 1. Configuration of CLPS

안을 사용하였다[1]. 또한 인버터의 직류 백크단을 Z-source형태로 구성함으로써 인버터의 고조파 함유율을 감소시키고, 큰 공진전류로 인한 직류 전원의 불안정을 해소하는 방안을 사용하였다. 그림 1은 비접촉 전원설비의 구성도이다.

### 2.1 비접촉 선형 변압기

비접촉 전원장치에 사용하는 비접촉 선형유도 변압기는 아래와 같은 특징을 갖는다[2].

- 큰 누설 인덕턴스를 갖는 1차 권선과 1차 권선의 일부에 이동하면서 결합하는 2차 권선을 갖는다.
- 선형유도 변압기에 사용하는 전원은 고주파전원을 일반적으로 사용함으로써 표피효과를 가지고 있다.
- 1차 권선과 2차 권선은 분리가 가능하며, 공극에 의하여 분리되어 있다.
- 1차 권선과 2차 권선은 큰 공극으로 분리되어 있어 큰 자화전류를 필요로 한다.

엘리베이터에 사용하는 비접촉 변압기는 1차측에 고주파 전력을 공급하고 있어 1차 측에 코어를 사용할 경우 코어손실과 시공상의 경제적인 문제가 발생한다. 또한 공심코일을 설치할 경우 전력전송효율이 낮아지는 단점이 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 1차코일 아래에 2차 코어와 결합할 수 있는 성층 철심을 지지대 형태로 설치하여 자로

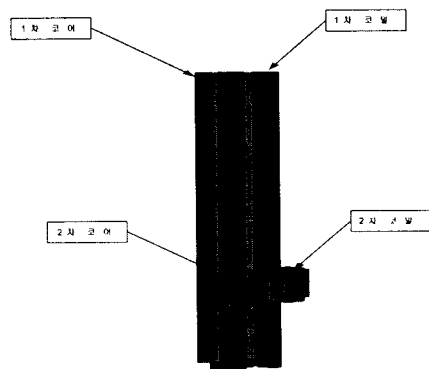


그림 2. 비접촉 변압기 구조  
Fig. 2. Configuration of Contactless transformer

## 비접촉 전력전송방식을 이용한 엘리베이터 카 보조 전원시스템

저항을 감소시키는 방법을 사용하였다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 비접촉 변압기의 형태를 나타낸 것이다.

다음 식들은 하나의 1, 2차 변압기 등가모델의 파라미터를 나타내고 있다.

$$R_m = R_{mFe} + R_{mg} = \frac{l_{Fe}}{\mu_r \cdot A_{Fe}} + \frac{g}{\mu_0 \cdot A_g} \quad (1)$$

여기서  $R_m$ 은 자기저항,  $R_{mFe}$ 는 철심의 자기저항,  $R_{mg}$ 는 공극의 자기저항,  $l_{Fe}$ 는 철심자로의 길이,  $A_{Fe}$ 는 철심자로의 단면적,  $g$ 는 공극의 길이,  $A_g$ 는 공극의 단면적을 나타낸다.

$$L_{11} = \frac{N_1(\Phi_{L1} + \Phi_{m1})}{i_1} \quad (2)$$

$$L_{22} = \frac{N_2(\Phi_{L2} + \Phi_{m2})}{i_2} \quad (3)$$

$$L_{12} = \frac{N_1 \Phi_{m2}}{i_2} \quad (4)$$

### 2.2 고주파 공진형 인버터

비접촉 전력전송장치에 사용되는 비접촉 변압기가 큰 공극을 가지므로 누설자속이 크고, 자화전류가 크므로 에너지 전달효율이 낮아 이를 극복하기 위하여 비접촉 전원장치용 인버터는 고주파 공진형 인버터를 주로 사용한다[3]. 본 연구에서는 비접촉 변압기의 인덕턴스를 공진 인덕턴스로 하는 직렬공진형 인버터를 사용하였으며, 2차측이 이동하면서 변화하는 공진 인덕턴스를 추종하여 언제나 공진 주파수와 스위칭 주파수가 동일한 방법으로 제어되는 방안을 사용하였다. 또한 인버터의 직류 입력단을

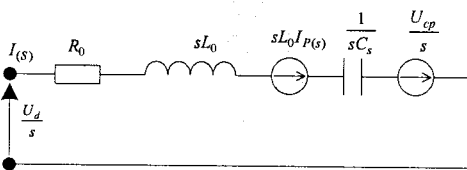


그림 3. 공진형 인버터 등가회로  
Fig. 3. Equivalent Circuit of Resonant inverter

Z-source형태로 구성함으로 인버터의 고조파 함유율을 저감시키고 직류 입력전원의 안정화가 이루어질 수 있도록 하였다. 반주기 동안의 인버터 동작을 나타내는 등가회로는 그림 3과 같다.

등가회로에서 공진 인덕턴스에 흐르는 전류의 초기값은  $I_p$ 이고 공진커패시터의 초기전압은  $-U_{cp}$ 이다. 즉  $t=0$ 에서  $i(0) = I_p$ 이고,  $u_c(0) = -U_{cp}$ 이다. 인버터는  $R_0 < 2\sqrt{L_0/C_s}$ 의 조건하에서 감쇄진동이 발생한다. 따라서 부하에 흐르는 전류와 커패시터 양단전압은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$i(t) = e^{-\alpha_0 t} \left[ I_p \cos \omega_0 t + \left( \frac{U_d + U_{cp}}{\omega_0 L_0} - I_p \frac{\alpha_0}{\omega_0} \right) \sin \omega_0 t \right]$$

$$u_c(t) = U_d + -e^{-\alpha_0 t} \left\{ (U_d + U_{cp}) \cos \omega_0 t + \left[ (U_d + U_{cp}) \frac{\alpha_0}{\omega_0} - \frac{I_p}{\omega_0 C_s} \right] \sin \omega_0 t \right\} \quad (5)$$

여기서  $\alpha_0 = \frac{R_0}{2L_0}$  이고,  $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_0 C_s} - \alpha_0^2}$ 이다.

### 3. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 4는 맥스웰을 이용하여 제안된 비접촉 변압기의 자속밀도를 시뮬레이션 결과를 보여준다. 시뮬레이션 조건은 1차 코일에 50[A]의 전류를 흐르게 하였으면 2차 코일에는 전류를 인가하지 않았다. 시뮬레이션 결과 1차 코어나 2차 코어는 자기포화가 발생하지 않았으며, 2차에 철판을 배치하지 않은 변압기에 비하여 높은 전력전송 효율을 보였다. 시뮬

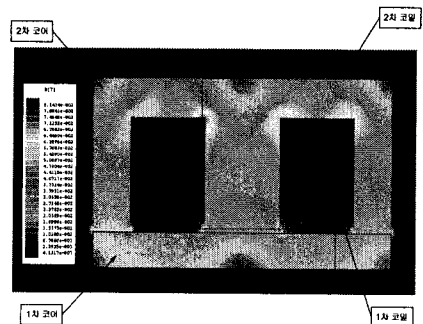


그림 4. 비접촉 변압기 시뮬레이션  
Fig. 4. Simulation of Contactless transformer

레이션 결과 비접촉 변압기 1차권선과 2차 권선의 결합계수는 0.33으로 나타났다. 또 권선의 Turn수를 1차권선은 10회, 2차권선은 20회로 하였을 때 자기 인덕턴스는 35[μH], 상호인덕턴스는 22[μH]인 것으로 나타났다.

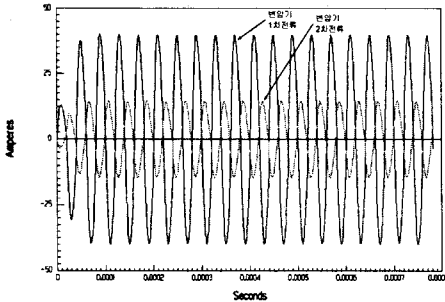


그림 5. 비접촉 변압기전류  
Fig. 5. Current of Contactless transformer

그림 5는 비접촉 변압기의 1차 및 2차측전류파형을 보여주고 있다. 그림 6은 제안된 비접촉 전력전송 시스템의 시뮬레이션 결과 파형을 보여준다. 앞에서 언급된 변압기의 조건을 이용하여 부하저항 10[Ω]에 연결하여 ICAP4로 시뮬레이션한 결과 공진전류는 약 순시값 50[A]의 공진 전류가 공진 탱크에 흐르고, 공진 주파수를 추적하여 언제나 영전압, 영전류 스위칭이 이루어 점을 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 5[kW]급 비접촉 전원 시스템을 제작하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 주 스위치는 세미크론의 SKM300GB128D를 사용하였으며, 공진 인덕터는 선형변압기를 사용하였으며, 선형변압기의 2차측이 움직임에 따라 24~25.5[μH]까지 변화하였다. 공진 커패시턴스는 0.66[μF]을 사용하였고, 부하저항은 10[Ω]을 사용하였다. 공진인덕턴스의 변화에 따라 공진 주파수를 추적하기 위하여 PLL을 사용하여 제어하였으며, PLL의 Lock 범위는 36[kHz]에서 42[kHz]로 하였다. 그림 7은 영전류 스위칭을 확인하기 위하여 1차 공진전류(황색)와 게이트 파형(분홍색)을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 시뮬레이션결과와 같게 영전류 스위칭이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 선형변압기 1차측의 전압(분홍색)과 공

진전류파형을 나타낸 것이다. 공진전류는 11.3[A] RMS이고, 전압은 100[V] Pick로 측정되었다. 그림 9는 선형변압기의 1차측 전류, 즉 공진전류와 변압기의 출력전류를 측정된 것이다. 1차 전류의 크기가 11.3[A] RMS값이고 2차전류는 4.2[A] RMS값으로 측정되었다.

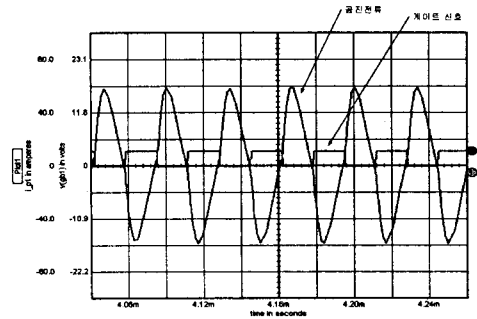


그림 6. 공진전류와 게이트 신호  
Fig. 6. Resonant current and gate signal

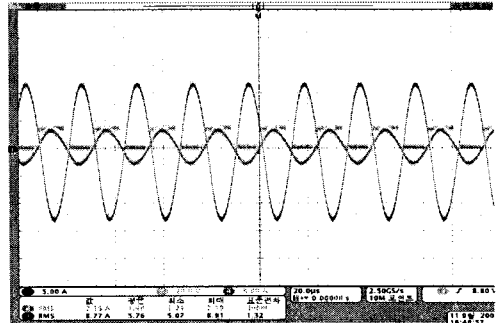


그림 7. 공진전류와 스위칭 펄스  
Fig. 7. Resonant current and Switching Pulse

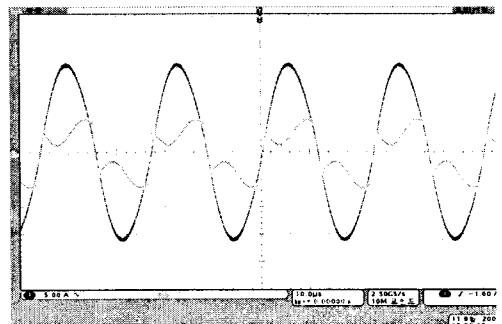


그림 8. 공진회로의 전압과 전류  
Fig. 8. Resonant circuit Voltage and Current

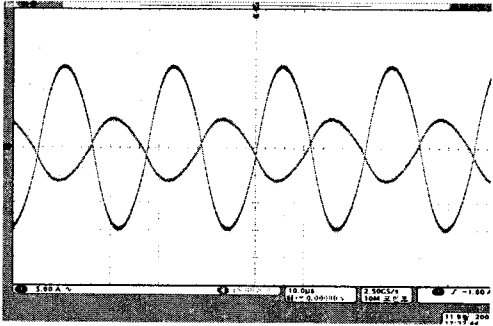


그림 9. 선형변압기 1차전류와 2차전류  
Fig. 9. Linear Transformer Primary and secondary current

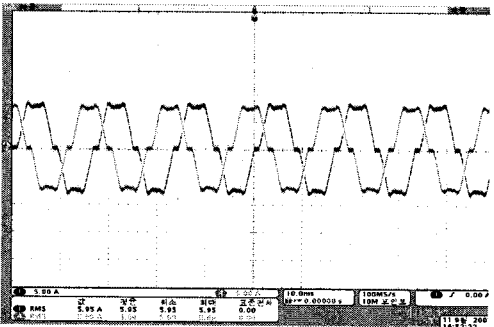


그림 10. 비접촉 전원시스템 입력전류  
Fig. 10. Input current of CLPS

그림 10은 인버터 삼상 입력전류 중 2상의 전류를 측정한 파형이다. 입력전류의 크기는 5.95[A] RMS로 측정되었다. 따라서 비접촉 전원시스템의 전류 전달효율은 70.5[%]로 측정되었다.

#### 4. 결 론

본 논문은 엘리베이터 카 보조전원을 위한 비접촉 전력전송 시스템에 관하여 시스템을 설계하고 시뮬레이션과 실험을 시행한 결과를 나타낸 것이다. 비접촉 변압기의 전력전송 효율을 향상시키기 위하여 비접촉 변압기의 1차측에 철심코어를 설치하여 변압기의 자기저항을 감소시키기 위한 방법을 사용하였다. 1차 권선은 공심코어를 이용하여 자속을 발생하고, 이 자속을 2차 코어가 결합할 때 결합효율을 증대시키기 위하여 1차권선의 아래에 철심을 설치하여 자기저항을 감소시키는 방법을 사용하였다. 또한 이

동부하에 대하여 전력을 전송하는 시스템으로 공진 파라메타가 변화하는 것에 대하여 이를 추적하고 언제나 영전압, 영전류 스위칭이 이루어지도록 인버터를 제어하였다. 이와 같이 설계하여 맥스웰과 ICAP4를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 이를 바탕으로 실험을 하였다. 실험결과 공진주파수 38[kHz]~40[kHz]까지 변화하는 공진주파수를 추적하여 항상 영전류 스위칭이 이루어짐을 확인하였고, 선형변압기의 구조를 변경하여 제안된 시스템의 전류전달효율은 70.5[%]로 측정되었다.

#### References

- (1) 노성찬, 김윤호, "다중일차권선 비접촉 변압기를 이용한 비접촉 전원시스템의 공진주파수 추적에 관한 연구" Trans. KIEE, Vol. 55B, No. 3 MAR. 2006.
- (2) Yong Xiang Xu, "Modeling and Controller Design of ICPT pick-ups", Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Volume 3, 13-17 Oct. 2002 Page(s):1602-1606 vol.3.
- (3) Yoshiji Hiraga, "Decentralized control of machines with the use of inductive transmission of power and signal", Industry Applications Society Annual Meeting, 1994, Conference Record of the 1994 IEEE, 2-6 Oct. 1994 Page(s):875-881 vol.2.

#### ◆ 저자소개 ◆

##### 임용규 (林應奎)

1962년 6월 20일생. 1990년 중앙대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정.

##### 노성찬 (魯成贊)

1966년 7월 4일생. 2002년 중앙대학교 대학원 전기전자공학부 박사수료. 2007년 동대학원 박사졸업.

##### 김수홍 (金洙弘)

1976년 8월 11일생. 2002년 삼척대학교 제어계측공학과 졸업. 2004년 중앙대학교 일반대학원 전자전기공학부 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정.

##### 김지민 (金知珉)

1975년 9월 23일생. 2001년 삼척대 제어계측공학과 졸업. 2004년 중앙대 전자전기공학부 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학부 박사과정.

##### 김윤호 (金倫鎬)

1949년 6월 20일생. 1974년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 미국 Texas A&M 대학 졸업(박사). 현재 중앙대학교 전기전자공학부 교수. 2003년 전력전자학회 회장 역임. 현재 한국철도학회 회장.