

# Auto Rescue Device를 위한 고승압 컨버터 설계

한상훈, 조영훈

건국대학교 전력전자연구소

## Design of High Step-up Converter for Auto Rescue Device

Sanghun Han, Younghoon Cho

Power Electronics Lab. Konkuk Univ.

### ABSTRACT

엘리베이터의 경우 정전 시 승객을 안전하게 구출하기 위한 장치가 필요하다. 이를 위하여 Auto Rescue Device(ARD) 혹은 Uninterruptible Power Supply(UPS)가 엘리베이터에 설치된다. ARD는 정전 시 배터리의 전압을 승압하여 인버터의 DC 링크 전압을 유지한다. 만약 배터리의 전압보다 DC 링크 전압이 2배 이상 클 경우 일반적인 부스트 컨버터는 효율 등의 문제로 사용이 어렵다. 이에 본 논문에서는 ARD의 특성을 고려한 LLC 공진형 컨버터의 설계 방법에 대하여 서술하였다. 또한 이를 모의실험을 통하여 검증하였다.

### 1. 서론

한국 승강기 안전공단에서 제공하는 승객용 엘리베이터 표준 규격에서는 안전장치로 자동구출 운전장치(ARD)를 설치하여야 한다고 명시되어 있다. ARD는 정전 등의 이유로 주전원으로부터의 전력 공급이 차단되어 엘리베이터가 비정상적인 위치에 정지한 경우 가까운 층으로 엘리베이터를 이동시켜 승객들을 안전하게 구출시키는 장치이다. ARD는 정전 시 배터리를 이용하여 전력을 공급하므로 배터리의 낮은 전압을 승압시키기 위한 DC/DC 컨버터가 필요하다. 일반적으로 ARD에 사용되는 배터리의 전압은 40~80V이고, 이를 약 600V까지 승압하게 된다. 또한 ARD는 엘리베이터에 설치되기 때문에 크기와 무게가 제한된다.

LLC 공진형 컨버터는 ARD를 위한 조건에 모두 부합한다. LLC 공진형 컨버터는 변압기를 통해 손쉽게 고승압이 가능하다. 또한 소프트 스위칭 덕분에 높은 스위칭 주파수에서도 고효율로 동작이 가능하므로 변압기의 크기를 줄일 수 있다<sup>[1]</sup>. 또한 ARD의 경우 출력 전압을 일정한 전압으로 제어할 필요가 없기 때문에 고정 주파수 제어가 적용할 수 있다. 고정 주파수 제어의 경우 순환전류가 감소하여 고효율을 기대할 수 있고, 입력 측의 배터리 전압이 변동되더라도 효율에는 미치는 영향이 거의 없다. 따라서 ARD를 위한 LLC 공진형 컨버터의 경우 제어보다는 정확한 설계가 중요하다.

## 2. LLC 공진형 컨버터의 설계 방안

### 2.1 LLC 공진형 컨버터

그림 1은 1차측과 2차측 모두 풀브릿지 형태인 LLC 공진형 컨버터의 회로도이다. LLC 공진형 컨버터는 1차측의 스위치들이 50% 시비율로 스위칭하여 만들어낸 구형파 전압을 공진 탱크와 변압기를 거쳐 2차측으로 전달한다. 일반적으로 LLC 공진형 컨버터는 전류가 전압에 대하여 지상으로 동작하도록 하여 Zero Voltage Switching(ZVS) turn-on이 이루어진다<sup>[2]</sup>. LLC

공진형 컨버터의 경우 출력 전압을 제어하기 위해서는 듀티를 변화시키는 것이 아니라 주파수를 가변한다. ZVS가 가능한 영역 내에서 스위칭 주파수가 공진 주파수보다 클 경우 공진 탱크의 전압 이득은 1보다 작으며, 반대의 경우 1보다 큰 이득을 가진다. 만약 일정한 고정 주파수로 제어할 경우에는 일정한 전압 전달비를 가지는 변압기처럼 동작한다.

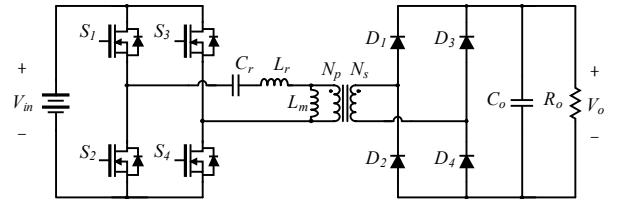


그림 1 LLC 공진형 컨버터 회로도  
Fig. 1 LLC resonant converter topology

### 2.2 LLC 공진형 컨버터의 설계

LLC 공진형 컨버터의 입출력 전압 이득은 1차측 회로가 풀브릿지 형태일 경우 변압기의 권선비와 공진 탱크의 전압 이득의 곱으로 나타낼 수 있다. 공진 탱크의 전압 이득은 식 (1)과 같다.

$$K(Q, m, F_x) = \left| \frac{V_{o-ac}(s)}{V_{m-ac}(s)} \right| \quad (1)$$

$$= \frac{F_x^2(m-1)}{\sqrt{(m \cdot F_x^2 - 1)^2 + F_x^2 \cdot (F_x^2 - 1)^2 \cdot (m-1)^2 \cdot Q^2}}$$
$$Q = \frac{\sqrt{L_r / C_r}}{R_{ac}}, R_{ac} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{N_p^2}{N_s^2} \cdot R_o, F_x = \frac{f_s}{f_r}, \quad (2)$$
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}}, m = \frac{L_r + L_m}{L_r}$$

$F_x$ 에 따른  $K$ 의 값을 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)는  $m$ 이 5일 때 각  $Q$  값에 대한 그래프이며, 그림 2(b)는  $m$ 이 10일 때 각  $Q$  값에 대한 그래프이다.  $Q$ 는 부하에 비례하며, 그래프를 통해 알 수 있듯이 부하가 작을수록  $F_x$ 가 변함에 따라  $K$ 가 민감하게 변동한다.  $m$ 이 크다는 것은 자화 인덕턴스가 크다는 의미이며, 이는 자화 인덕턴스를 통해 흐르는 순환전류가 감소한다는 의미이다. 이러한 순환전류의 감소로 인해 효율은 증가할 수 있지만, 가변 주파수 제어 시 주파수 변화에 따른 전압 이득의 변화가 작다는 단점이 존재한다. ARD는 고정 주파수 제어를 사용하므로 효율 증대를 위한 큰 값의  $m$ 을

선정할 수 있다. 고정 주파수 제어의 경우 스위칭 주파수  $f_s = f_r$  의 조건으로 제어하며, 이 때  $F_x$ 는 1이므로  $K$ 는  $Q$ 와  $m$ 의 값과 무관하게 항상 1의 크기를 가진다. 공진 주파수  $f_r$ 은 설계하는 시스템의 스위칭 특성과 원하는 전력 밀도 등을 고려하여 선정한다. 최종적으로 적절한  $Q$ 와  $m$ 의 값을 정하게 되면, 식 (2)를 이용하여  $C_r$ ,  $L_r$ ,  $L_m$ 의 값을 선정할 수 있다.

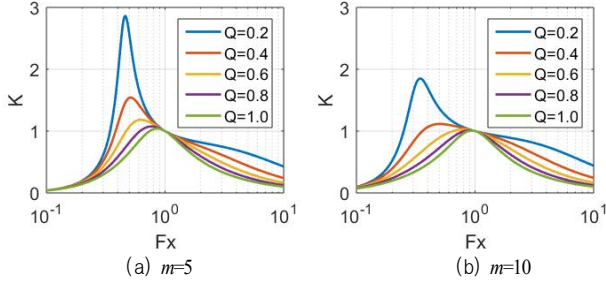


그림 2 공진 탱크의 전압 이득 그래프  
Fig. 2 Resonant tank voltage gain

### 3. 모의실험

본 논문에서 고려한 입력 전압은 40~54V의 범위 내에서 변동하며, 출력 전압은 인버터의 안정적인 제어를 위하여 최소값을 570V로 설정하였다. 고정 주파수 제어를 하기 위하여 설계한 공진 탱크의  $f_r$ 을 계산하더라도 실제 값과 오차가 존재하여  $F_x$ 는 1보다 크거나 작게 된다.  $F_x$ 에 오차가 존재하더라도,  $m$ 의 값이 크다면  $K$ 는 거의 1의 값을 가질 수 있다. 모의실험에서는 이러한 오차를 고려하여  $F_x$ 의 값을 0.98로 설정하였다.  $K$ 의 값이 항상 1이라면 입력력 전압 전달비는 변압기의 권선비로 볼 수 있다. 따라서 변압기의 권선비는 입력 전압의 최소값과 출력 전압의 최소값을 이용하여 구할 수 있다.

표 1 모의실험 제정수

Table. 1 Simulation parameters

$V_{in}$	40~54V	$Q_{max}$	0.4
$V_{o\_min}$	570V	$m$	17
$P_{o\_rated}$	3kW	$L_m$	7.2 $\mu$ H
$N_p$	4	$L_r$	0.45 $\mu$ H
$N_s$	57	$C_r$	15 $\mu$ F
$f_s$	60kHz	$f_r$	61kHz

표 1은 앞서 설명한 설계 방법에 따라 선정한 제정수이다. Q 값은 입력 전압의 최소값을 기준으로 선정한 값이다. 출력이 일정하다면 입력 전압이 작을수록 Q는 증가하기 때문에, 정격 부하에서 최소 입력 전압일 때 Q는 최대값이 된다. 그림 3은 최종적으로 설계한 값을 토대로 진행한 모의실험 결과이다.  $V_p$ 는 변압기의 1차 측 전압,  $V_s$ 는 2차 측 전압,  $I_r$ 은 공진 탱크에 흐르는 전류,  $I_s$ 는 변압기 2차측에서 정류기로 흐르는 전류이다. 그림 3(a), (b)는 정격 출력 조건에서 최소 입력 전압과 최대 입력 전압일 때의 출력 파형이다. 각 조건에서 출력 전압은 571V와 772V이다. 그림 3(c)는 입력 전압이 48V이고 출력이 정격의 절반인 1.5kW 일 때의 출력 파형이며, 출력 전압은 686V이다. 출력 파형을 통해 알 수 있듯이 설계한 LLC 공진형 컨버터는 최소 출력 전압 이상의 출력을 보장하며, 입력 전압과 출력 부하 변동에 무관하게 항상  $I_r$ 이  $V_p$ 에 대하여 지상으로 흐르며 ZVS

turn-on을 수행한다.

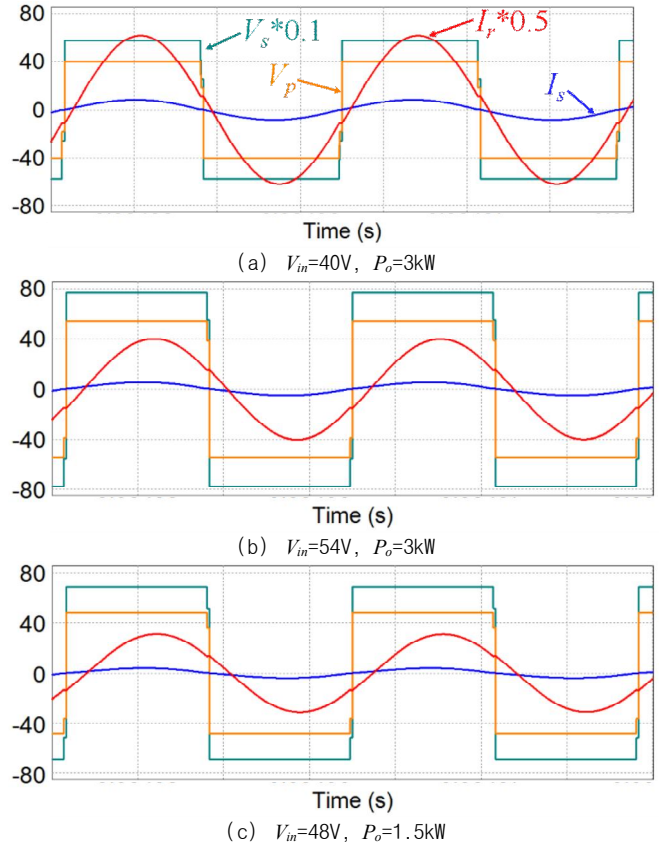


그림 3 모의실험 결과

Fig. 3 Simulation results

### 4. 결론

본 논문에서는 ARD를 위한 LLC 공진형 컨버터의 설계 방법에 대하여 제시하였으며, 이를 모의실험을 통해 검증하였다. 모의실험의 결과를 통해 최소 출력 전압을 보장하고 넓은 영역에서 ZVS 동작을 수행함을 확인하였고, 이는 ARD가 높은 전력 밀도를 가지도록 한다. 추후 실제 조건을 고려하여 정확한 설계 방향에 대하여 연구를 진행하고, 실제 실험을 통한 검증을 진행할 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20174030201660)

### 참고 문헌

[1] G. Ivensky, S. Bronshtein and A. Abramovitz, Approximate Analysis of Resonant LLC DC-DC Converter, in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 11, pp. 3274-3284, Nov. 2011.  
[2] Bo Yang, F. C. Lee, A. J. Zhang and Guisong Huang, LLC resonant converter for front end DC/DC conversion, *APEC. Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (Cat. No.02CH37335)*, Dallas, TX, 2002, pp. 1108-1112 vol.2.