

# 전기흡착식 오일 플러싱 시스템의 고전압원을 위한 공진형 DC-DC 컨버터

김명복, 오광교  
한국생산기술연구원 동력부품소재그룹

## Resonant DC-DC Converter for High Voltage Supply of Electric Desiccant Oil Flushing System

Myungbok Kim and Kwangkyo Oh  
Automotive Component and Material Group, Korea Institute of Industrial Technology

### ABSTRACT

산업용으로 사용되는 전기흡착식 오일 플러싱 시스템에 코로나 방전층을 형성하기 위해서 10kV 이상의 고전압원이 필요하다. 현재 전기흡착식 오일 플러싱 시스템을 위한 고전압원으로 고전압 변압기와 다이오드 정류 방식을 사용되고 있으나 변압기 구동을 저주파로 구동하므로 시스템의 크기 줄이는데 제약이 있다. 이러한 무게와 부피를 저감하기 위한 다른 방식으로는 고주파의 하프 브릿지 컨버터와 2차단의 전압 더블러 방식을 채택하는데 이 방식의 경우 앞단의 스파이크성 전류로 인하여 다이오드의 발열 문제가 심각하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 LC 공진형 컨버터를 제안하였으며 컨버터의 설계 또한 제시하였다. 이러한 설계와 제안된 컨버터의 효용성을 검증하기 위해서 최대 출력 150W와 출력전압 15kV의 시작품을 제작하여 실험을 실행하였다.

### 1. 서론

산업용 설비 기기에 주입되는 윤활유의 경우, 기기의 장시간의 연속 운전을 위해서 오일 교환이 불가한 오일 불순물 제거하는 방식을 채택해야 한다. 이 방식을 구현하기 위해서 진공 전기 흡착 방식의 오일 플러싱 시스템이 사용되고 있으며 불순물의 입자 제거를 위해서 그림 1과 같이 진공 챔버내의 10kV 이상의 고전압의 코로나 방전층을 형성해서 sub micron 입자의 응집성장을 유도한다. 이러한 코로나 방전층 형성을 위해서 기존에는 저주파의 고전압 승압 변압기와 폴브릿지 구조의 다이오드 정류기를 사용했으나 값비싼 고전압 다이오드 소자와 고전압 변압기의 절연 내압 문제로 인해서 안전성 문제가 심각하다. 이러한 단점을 해결하기 위해서 낮은 전압으로의 승압을 이용한 Greinacher voltage doubler를 이용하여 2차단을 구성한 공진형 컨버터를 제안하였다.<sup>[1][2]</sup>

### 2. Greinacher Voltage Doubler를 사용한 공진형 컨버터

Greinacher Voltage Doubler 회로를 채택한 공진형 컨버터는 그림 2와 같이 구성하였다. 제안된 회로의 경우 상대적으로 낮은 AC 전압을 이용해서 큰 출력 전압을 생성할 수 있으며 공진형 컨버터의 높은 스위칭 주파수로 인해서 출력측의 다이오

드의 경우, 역회복 특성이 우수한 다이오드를 사용해야 한다. 일반적인 공진형 컨버터와 마찬가지로 초기의 과도 전류로 인한 회로 소손을 방지하기 위해서 soft startup 동작이 필요하다.

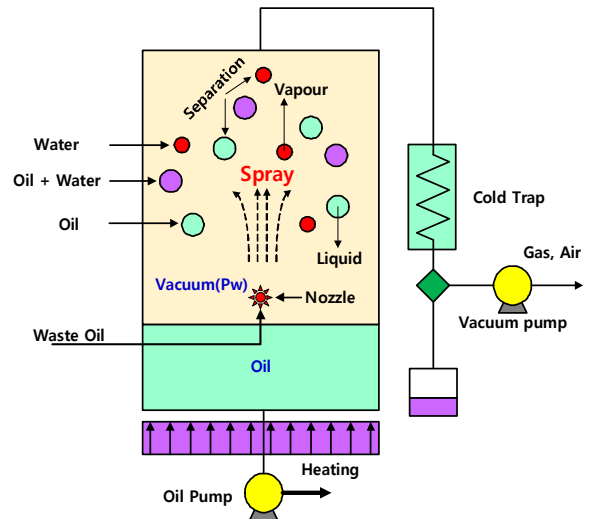
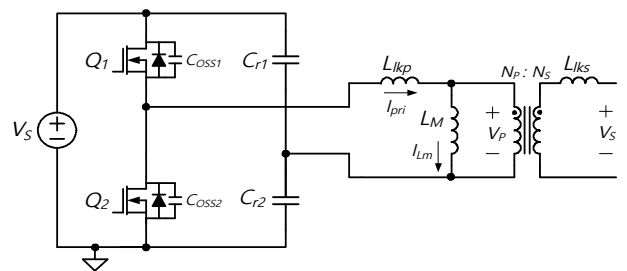
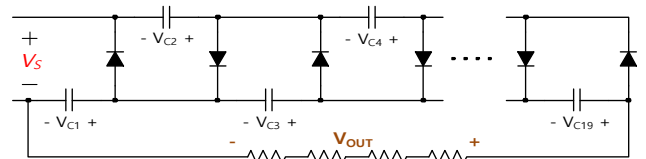


그림 1. 전기흡착식 오일 플러싱 시스템  
Fig 1. Electric Desiccant Oil Flushing System



(a) 1차단 공진형 컨버터 회로



(b) 고전압 승압을 위한 Greinacher voltage doubler  
그림 2. 고전압 전원용 LLC 공진형 컨버터

Fig 2. LLC Resonant Converter with Greinacher voltage doubler  
고주파 DC DC 컨버터 가운데, 전부하영역에서 영전압 스위

칭이 가능하며 주파수에 따른 다양한 전압이득을 지닌 컨버터로는 LLC공진형 컨버터와 2차단 Greinnacher voltage doubler 회로가 적합하다.<sup>[3]</sup> 제안된 컨버터의 주파수에 따른 이득 곡선을 구하면 다음과 같은 식(1)로 표현할 수 있다.

$$m = \frac{\omega^2}{\omega_r^2} \left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_{r1}^2} \right) \left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_{r4}^2} + s \frac{L_p}{R_{ac}} \right) - \frac{\omega^2}{\omega_{r2}^2} \left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_{r3}^2} + s \frac{L_{lkp}}{R_{ac}} \right) \quad (1)$$

위 수식의 각 항목은 다음과 같이 회로 정수로 표현할 수 있다. 특히, Co은 1차단에서 등가적으로 표현할 수 있는 2차단의 출력 커패시터의 용량과 권선비로 표현한 것이다.

$$L_p = L_m + L_{lkp}, \quad C_o = \left( \frac{N_s}{N_p} \right)^2 \frac{C_{output}}{n}$$

$$\omega_{r1} = \frac{1}{\sqrt{L_{lkp} C_r}}, \quad \omega_{r2} = \frac{1}{\sqrt{L_m C_r}}$$

$$\omega_{r3} = \frac{1}{\sqrt{L_{lkp} C_o}}, \quad \omega_{r4} = \frac{1}{\sqrt{L_p C_o}}$$

### 3. 실험

위의 입출력 전압 이득을 표 1과 같은 회로 정수값을 이용하여 Prototype을 구성하였다. 전기흡착식 오일플러싱 시스템 동작을 위한 필요 출력전압이 10kV이므로 표 1과 같이 회로 정수값을 갖는 공진형 컨버터를 설계하였다.

표 1 고전압 전원단의 회로 정수 값  
Table 1 Circuit Parameter of High Voltage Power Source

$L_{lkp}$	130uH	$C_{r1}, C_{r2}$	150nF
$L_{lkp}$	2.08mH	$C_{output}$	10nF
$L_m$	630uH	$R_{ac}$	10kΩ
$L_p$	760uH	k	4.84
$N_p$	50	$N_s$	200

위의 표 1과 같은 회로 정수값을 지닌 공진형 컨버터의 부하량에 따른 식 1의 입출력 전압 이득식을 그래프로 표현하면 그림3과 같이 표현할 수 있다. 전압 이득이 주파수가 높을수록 전압 이득이 낮아지기 때문에 초기 구동시 soft start 방법으로는 높은 주파수에서 구동을 시작하면서 출력 전압 제어를 하는 방법을 채택하였다.

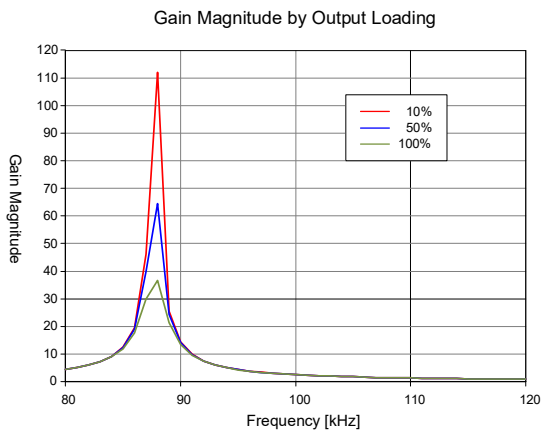
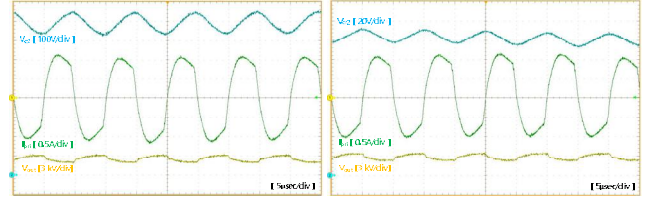


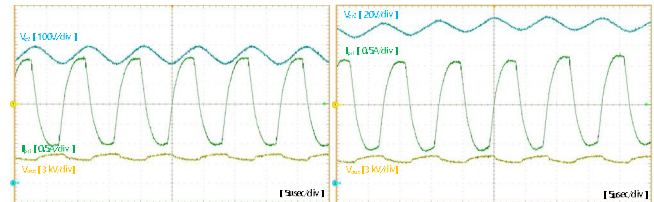
그림 3. 부하량에 따른 전압 이득 곡선

Fig 3. Gain Magnitude of proposed converter by output loading  
실부하 실험 파형은 그림 4와 같다. (a)의 경우, 주파수

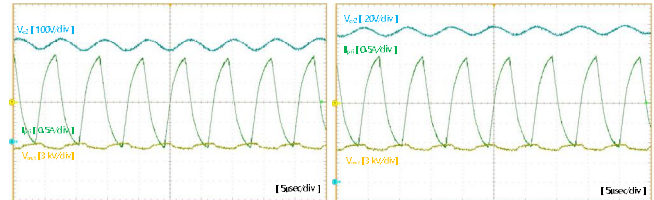
100kHz에서의 1차단의 공진 전류, 공진 커패시터 전압, 그리고 2차단의 출력단 전압 파형이며, 동작 주파수 120kHz에서의 동작 특성 파형은 (b), 그리고 동작 주파수 140kHz에서의 동작 특성 파형은 (c)이다. 파형에서 보는 바와 같이 주파수가 높아질수록 출력단의 전압이 낮아지는 것을 확인할 수 있다.



(a) 100kHz에서의 동작 특성 파형



(b) 120kHz에서의 동작 특성 파형



(c) 140kHz에서의 동작 특성 파형

그림 4. 스위칭 주파수에 따른 동작 특성 파형

Fig 4. Operational Waveform by Switching Frequency

### 4. 결론

고전압원 필요한 코로나 방전을 이용한 전기흡착식 오일플러싱 시스템에 LLC 공진형 컨버터와 2차단 Greinnacher voltage doubler회로를 제안하였다. 하지만 2차단 출력단 커패시터의 낮은 용량으로 인하여 기존의 LLC 공진형 컨버터와의 동작 특성이 다르며 이에 대한 전압 이득 방정식 유도하여 동작을 검증하였다.

이 논문은 한국생산기술연구원의 플랫폼형 R&D 기술 개발 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] Greinacher, H. (1921), "On a method to transform a.c. current via electrical diodes and capacitors into high voltage d.c. current", Journal of Physics (in German) 4 (2): 195 205.
- [2] Hwang, Francis, Ying Shen, and Shesha H. Jayaram. "Low ripple compact high voltage DC power supply." IEEE Transactions on Industry Applications, 42.5 (2006): 1139 1145.
- [3] Steigerwald, Robert L. "A comparison of half bridge resonant converter topologies.", IEEE Transactions on Power Electronics, 3.2 (1988): 174 182.