

## 비접촉 전원장치에 적용한 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터에 관한 연구

(A Study on the Serial-Parallel Resonant DC/DC Converter  
for Contactless Power Supply System)

황계호\* · 이봉섭 · 김동희

(Gye-Ho Hwang · Bong-Sub Lee · Dong-Hee Kim)

### 요 약

최근 FPD 산업에서 물류이송장비의 전원장치로 비접촉 전원장치에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 양산 라인에 적용되고 있는 물류장비의 비접촉 전원장치는 주로 직선구간을 왕복하고, 이송대차가 한 대인 경우에 적용하고 있다. 그러나 곡선 구간과 이송대차가 다수인 경우의 물류이송장비에는 적합하지 않다.

따라서 본 논문은 직·곡선 구간이 혼용되어진 구조이고, 이송대차가 한 대 이상으로 구동되는 물류이송장비의 비접촉 전원장치 시제품에 적용하였고, 적용된 비접촉 전원장치의 회로 구조는 풀 브릿지 구조를 갖는 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터 회로로 하여 회로해석, 제어방법, 특성평가, 실험을 통한 적용·가능성에 대한 연구를 행하였다. 또한 비접촉 전원장치의 전체 제어는 1차측 전원공급장치에 일정한 공진전류를 제어하기 위해 듀티 제어를 사용하였고, 2차측 전원공급장치의 출력전압을 일정하게 유지하기 위해 다수의 이송대차가 자체 제어를 하도록 구성하였다. 실제 2대의 이송대차를 제작하여 직·곡선 구간을 구성하고, 물류이송장비를 운용하여 양호한 특성으로 적용가능함을 알 수 있었다.

### Abstract

Recently, Contactless Power Supply(CPS) system has been broadly studied as a power supply system for Flat Panel Display(FPD) material transfer equipments. In mass production line, CPS systems on material transfer equipment are applied only in the straight sections with single operating vehicle. The formal CPS system was not adequate for curved section nor multiple operating vehicles.

Therefore, this paper presents CPS system that consists of straight and curved section with multiple operation vehicles. The circuit topology of CPS system consists of full bridge configured serial-parallel resonant DC/DC converter. The control method for CPS system consists of duty control method on the primary power supply system to maintain constant resonant current. And the secondary power supply systems of multiple vehicles are self controled to maintain constant output voltage. Practically, the test result of dual vehicles on straight and curved section of material transfer equipments were satisfactory, and proved it's applicability on commercial use.

Key Words : FPD, CPS, Resonant converter, Vehicle, DC/DC converter

\* 주저자 : (주)신성이엔지 기술연구소 선임연구원

Tel : 031-788-9067, Fax : 031-788-9440, E-mail : hgyeho@shinsung.co.kr

접수일자 : 2007년 12월 5일, 1차심사 : 2007년 12월 7일, 2차심사 : 2008년 1월 22일, 심사완료 : 2008년 2월 1일

## 1. 서 론

멀티미디어 환경이 보편화 되고 정보 인프라가 급속도로 확대됨에 따라, 디스플레이 산업도 급속한 변화를 보이고 있다. 이에 생산 자동화를 통한 FPD 제조사들의 생산 효율 증대를 위한 차세대 설비 투자 경쟁이 치열한 상황이다. 그러나 첨단 디스플레이 산업에서 경쟁력을 갖추기 위한 중대한 요소들인 생산 장비 및 부품, 소재의 국산화율은 지극히 부진한 실정이며, 생산 설비 투자액 중 대부분을 미국, 유럽, 일본 등 선진국의 장비를 수입하는데 사용되고 있다. 이에 따라 국내 대기업들의 신공정의 내용 등이 외부에 노출되어 국내업체의 중요한 정보가 해외 경쟁업체로 흘러 들어가는 부작용을 가져오고 있다. 따라서 FPD 산업분야에서의 물류장비 국산화는 매우 시급한 실정이므로 국산화에 대한 연구가 보다 활발히 진행되고 있다[1-2].

또한 그림 1에서 보듯이 물류장비의 전원장치로 비접촉 전원장치에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다[3-6]. 그 결과 일부 물류이송 시스템에 비접촉 전원장치의 국산화를 이루게 되었다[4-5].

그림 2는 실제 FPD 생산라인에 적용되어진 비접촉 전원장치의 블록도를 보여주고 있다. 그림 2에서 보듯이 비접촉 전원장치는 크게 고정부인 1차측 전원공급장치와 이송부인 2차측 전원공급장치, inductive coupler 장치로 구분되며, 이송대차에 탑재되어 이송되어지는 2차측 전원공급장치는 광모뎀을 이용하여 직선구간으로 구성된 1차측 전원공급장치에 출력전압을 보내 일정한 출력전압이 되도록 제어하는 방법이며, 이는 물류반송 시스템이 직선 구간에서 이송대차가 1대만 가능하고, 여러 대인 경우 제어가 불가능하게 되는 단점을 가진다[4-5].

따라서 본 논문은 이송대차가 2대 이상이며, 직선 구간, 곡선 구간으로 혼용으로 구성되는 물류반송 시스템을 위한 비접촉 전원 장치의 회로 해석 및 제어 방법, 특성평가, 실험을 통한 적용·가능성에 대한 연구를 행하고자 한다.

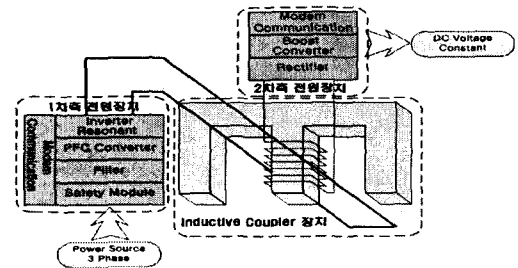


그림 1. 비접촉 전원장치의 블록도  
Fig. 1. Block diagram of CPS system

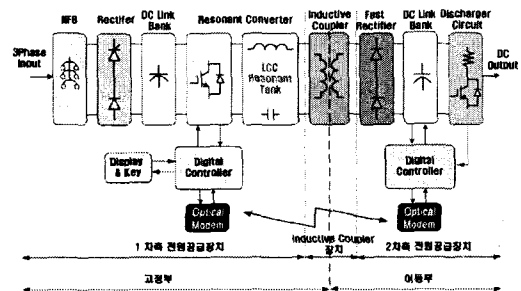


그림 2. 비접촉 전원장치의 정전압 제어 블록도  
Fig. 2. Constant output voltage control block diagram of CPS system

## 2. 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터

### 2.1 비접촉 전원장치의 정전류 제어

그림 3은 비접촉 전원장치의 정전류 제어 블록도를 보여주고 있다. 그림 3에서 보듯이 1차측 전원공급장치는 세부적으로 3상 입력부와 정류부, 공진형 컨버터부로 구성되고, 2차측 전원공급장치는 역회복이 빠른 정류부와 회생 전력 소모부, 부하로 구성하였다. 또 inductive coupler 장치는 파워 트래크와 커플러로 구성하였다. 여기서 공진형 컨버터는 풀브릿지 구조로 부하직렬 고주파 공진 DC/DC 컨버터에 공진커패시터를 병렬로 삽입한 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터 회로로 구성하였다.

비접촉 전원장치의 정전류 제어 흐름은 초기 서서히 공진 기준전류를 발생하여 1차측 파워 트래크 권선에 일정한 공진 전류를 유기한다. 이 유기된 전류는 2차측 전원공급장치가 소프트 차징을 하여 일정한 출력전압이 형성되도록 한다. 따라서 출력 전압에

의한 다수의 이송대차에 포함되어 있는 각각의 2차측 제어기가 동작하여 2차측 전원공급장치가 동작하게 된다. 이 때 1차측 전원공급장치는 커플러의 주행 파워 트랙에 흐르는 공진 전류를 일정하게 유지도록 제어하게 구성하였으며, 다수의 이송대차에 2차측 전원공급장치의 출력전압을 일정하게 유지하기 위해 자체 제어를 하기도 한다.

본 논문에서는 공진 전류를 일정하게 제어하기 위해 1차측 전원공급장치에 탑재된 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터가 2차측 전원공급장치의 부하 변동에 무관하도록 독립적으로 구성하였다. 또한 커플러의 주행 파워 트랙의 직·곡선으로 혼용된 개루프 구간에서 최대 운행 가능한 이송대차 수에 맞는 용량을 갖게 특정 주파수(스위칭 주파수)로 고정하고, 위상각( $\phi$ )을 조정하는 듀티 제어방법을 적용하였으며, 스위칭 주파수는 ZVS기능을 갖는 공진 주파수( $f_r$ )보다 스위칭 주파수( $f_{sw}$ )가 높게 동작되는 유도성 패턴으로 동작되도록 하였다.

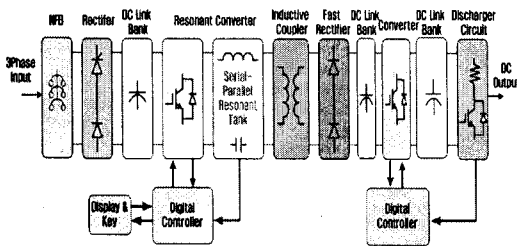


그림 3. 비접촉 전원장치의 정전류 제어 블록도  
Fig. 3. Constant resonant current control block diagram of CPS system

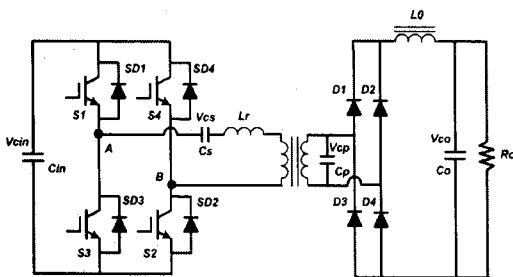


그림 4. 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터  
Fig. 4. Serial-parallel type resonant DC/DC converter

## 2.2 회로 해석

그림 4는 풀 브릿지 구조를 갖는 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터를 보여주고 있다. 그림 4에서 보듯이 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터의 회로구성은  $C_{in}$ 은 전원이고, S1~S4는 스위칭 소자로 MOSFET, IGBT, power SIT등이 적용가능하고, Cs, Cp와 변압기는 공진 커패시터와 리액터이며, Co는 평활용 커패시터, D1~D4는 브리지로 구성된 정류용 다이오드로 역회복 시간이 빠른 고속 다이오드를 사용한다.

그림 5는 듀티 제어방법을 이용하기 위해 위상각( $\phi$ )을 갖는 스위칭 소자(S1~S4)의 구동 신호와 기준암(S1, S3)과 제어암(S2, S4) 사이의 암전압( $V_{AB}$ ), 파워 트랙의 공진전류( $i_{Lr}$ )의 파형을 정성적으로 보여주고 있다. 여기서 스위칭 소자(S1~S4)는 데드타임을 갖고, 상보적으로 구동하도록 스위칭하고, 스위칭 패턴은 유도성 패턴으로 동작되도록 하였다. 그림 5에서 보듯이 스위칭 패턴에 따른 동작 모드는 6개 모드로 나누어지며, 이중 4개의 회로모드(모드2, 모드3, 모드5, 모드6)는 전력전달 모드, 2개의 회로모드(모드1, 모드4)는 전력순환모드로 되어 있음을 알 수 있다. 그림 6은 각 모드별 등가회로를 보여주고 있다.

그림 6의 동작모드에 따른 각 모드별 회로 상태방정식에 표 1의 무차원화 파라미터를 도입하여 정규화 되도록 표현하였다. 6개의 모드 중 모드 1의 무차원화 상태 방정식은 식 (1)과 같다.

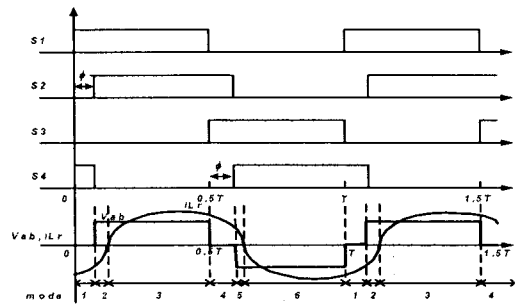


그림 5. 듀티 제어에 의한 정상상태의 정성적 파형  
Fig. 5. Normalization waveform of steady state for duty control

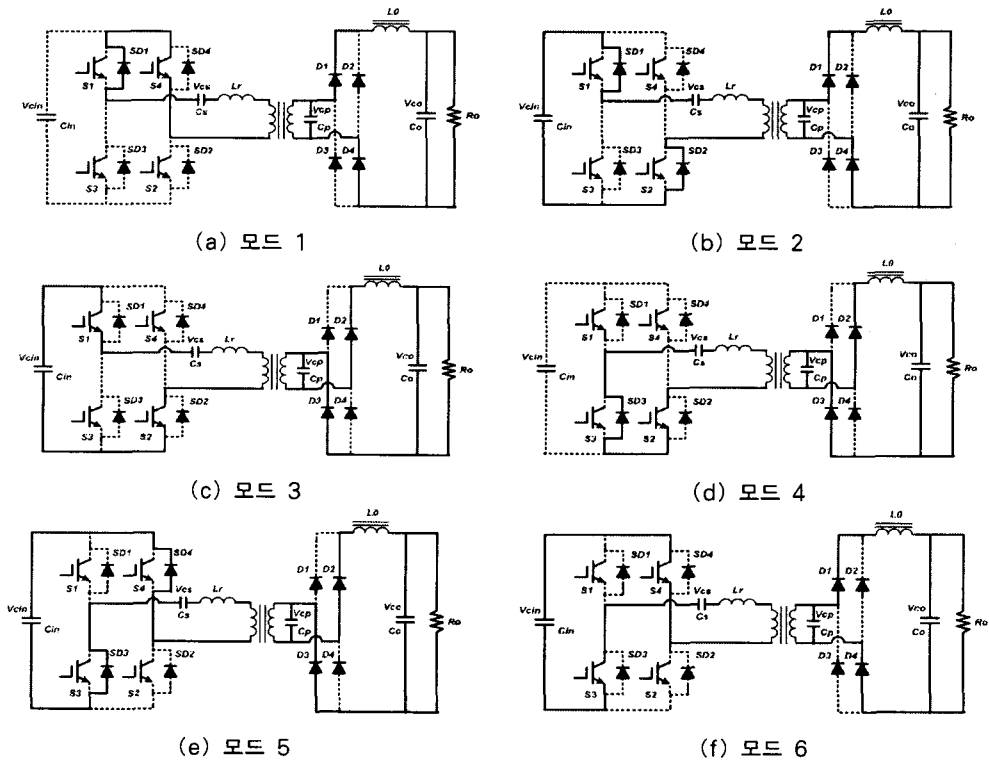


그림 6. 모드별 등가회로  
Fig. 6. Equivalent circuit of each operation mode

$$\frac{dX^*}{dz} = A^* \cdot X^* + B^* \cdot U^* \quad (1)$$

여기서,  $X^* = [i_{Lr}^*(z) i_{Lo}^*(z) V_{cr1}^*(z) V_{cr2}^*(z) V_{co}^*(z)]^T$ ,  
 $U^* = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ 이고,  $A^*$ ,  $B^*$ 는 다음과 같다.

$$A^* = \frac{4\pi}{\mu} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & sn \frac{1}{a1} & -\frac{1}{a1} \\ \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{4b1} & -sn \frac{1}{4b} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4b0} & 0 & 0 & -\frac{1}{4\lambda b0} \end{bmatrix}$$

$$B^* = \frac{4\pi}{\mu} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

여기서 sn은 Co, Lo의 전압, 전류극성을 바꿔주기 위한 변수이다.

### 2.3 특성 평가

그림 7은  $a1=100$ ,  $b0=100$ ,  $b1=0.9$ 일 때, 무차원화 부하제어변수( $\lambda$ )를 파라미터로 하여 무차원화 주파수( $\mu$ )의 변화에 대한 3차원 출력전압특성을 보여주고 있다. 그림 7에서 보듯이,  $\lambda=2.0$ 일 때, 저항성 부하로 동작되는  $\mu=0.97$ 에서 출력전압이 최대치가 되며(입력 전원측에서 부하측으로 본 임피던스가 최소로 동작되는 상태),  $\mu$ 의 변화에 대한 출력전압도 변화하는 것을 알 수 있다.

그림 8은  $a1=100$ ,  $b0=100$ ,  $b1=0.9$ 일 때, 무차원화 부하제어변수( $\lambda$ )를 파라미터로 하여 무차원화 주파수( $\mu$ )의 변화에 대한 2차원 출력전압특성을 보여주고 있다. 그림 8에서 보듯이, 무차원화 부하제어변수( $\lambda$ )가 2.0에서 11.0까지 커질수록 출력전압은 커진다는 것을 볼 수 있고, 또한 무차원화 주파수( $\mu$ )가 1.08인 경우 무차원화 부하 제어변수의 변화에 따른

출력전압의 변화 범위는 0.8에서 1.15가 됨을 알 수 있다. 이 특성으로 사용자가 원하는 출력전압 변동 범위를 선정하기 위하여 무차원화 주파수를 변화하여 적절한 무차원화 주파수를 결정하고, 이 무차원화 주파수에서 부하 변동에 따른 출력전압 보상을 위한 듀티 제어를 고려하여 선정하여야 한다. 또한, 이 특성으로 듀티 제어 범위는 스위칭 소자의 선정 및 2차측 전원공급장치의 운영 가능한 이송대차 개수를 선정하는데 중요한 파라미터이다.

그림 9는  $a1=100$ ,  $b0=100$ ,  $\lambda=2.22$ 일 때, 무차원화 커패시터의 비( $b1$ )를 파라미터로 하여 무차원화 주파수( $\mu$ )의 변화에 대한 출력전압특성을 보여주고 있다. 그림 9에서 보듯이, 부하제어변수( $\lambda$ )가 2.22에서  $b1$ 인 무차원화 커패시터의 비를 0.1에서 1.0으로 증가할 경우 출력전압특성이 증가하는 경향을 알 수 있다.

그림 10은  $a1=100$ ,  $b0=100$ ,  $\lambda=2.22$ 일 때, 무차원화 주파수( $\mu$ )를 파라미터로 하여 무차원화 커패시

터의 비( $b1$ )의 변화에 대한 출력전압특성을 보여주고 있다. 그림 10에서 보듯이, 무차원화 부하제어 변수( $\lambda$ )가 2.22에서  $b1$ 인 무차원화 커패시터의 비를 0.1에서 1.0으로 증가할 경우 출력전압특성이 증가하는 경향을 보이며, 또한 무차원화 커패시터의 비가 증가할 경우, 무차원화 주파수가 1.08부근에서는 출력전압 범위가 작아지는 경향을 알 수 있다.

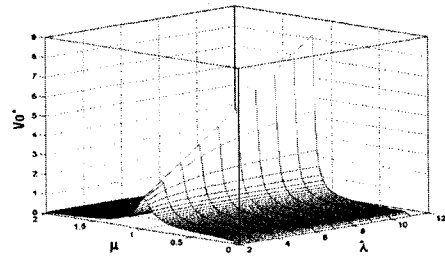


그림 7. 무차원화 부하제어 변수 vs. 출력전압의 특성  
Fig. 7. Characteristic of  $\lambda$  vs.  $V_o^*$

표 1. 무차원화 파라미터  
Table 1. Normalizer parameter

	Reference values	Normalizer values
Voltage	$E_s = E_d$	$v^*(z) = \frac{v(t)}{E_s}$
Current	$I_s = \frac{E_s}{Z_s}$	$i^*(z) = \frac{i(t)}{I_s}$
Power	$P_s = E_s I_s$	$p^*(z) = \frac{p(t)}{P_s}$
Impedance	$Z_s = \sqrt{\frac{L_s}{C_s}}$	$\lambda = \frac{R}{Z_s}$
Inductance	$L_s = L_r$	$a1 = \frac{L_o}{L_s}$
Capacitance	$C_s = C_s$	$b0 = \frac{C_o}{C_s}, b1 = \frac{C_p}{C_s}$
Frequency	$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}}$	$\mu = \frac{f_{sw}}{f_r} = f_{sw} (2\pi\sqrt{L C})$
Time	$T_s = \frac{1}{f_{sw}}$	$z = \frac{t}{T_s}, dz = \frac{dt}{T_s}$
<Remarks> $f_r$ : Resonant frequency of converter $f_{sw}$ : Switching frequency of converter $T_s$ : Operating period of converter		

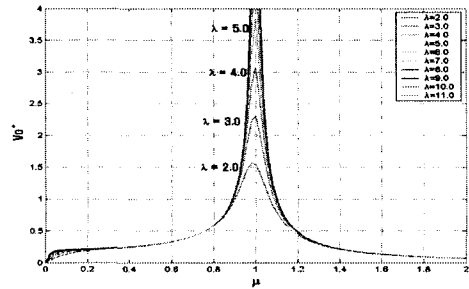


그림 8. 무차원화 주파수 비 vs. 출력전압의 특성  
Fig. 8. Characteristic of  $\mu$  vs.  $V_o^*$

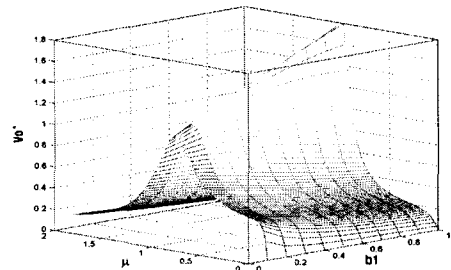


그림 9. 무차원화 커패시터 비 vs. 출력전압의 특성  
Fig. 9. Characteristic of  $b1$  vs.  $V_o^*$

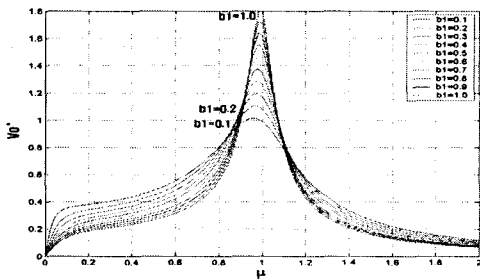


그림 10. 무차원화 주파수 비 vs. 출력전압의 특성  
Fig. 10. Characteristic of  $\mu$  vs.  $V_o^*$

그림 11은  $a1=100$ ,  $b0=100$ 일 때, 무차원화 주파수( $\mu$ )를 파라미터로 하여 무차원화 부하제어변수( $\lambda$ )의 변화에 대한 출력전압 특성을 보여주고 있다. 그림 11에서 보듯이, 특정한 무차원화 커패시터의 비에 대한 부하제어변수( $\lambda$ )를 2.0에서 11.0으로 증가하였을 경우, 출력전압특성 및 무차원화 주파수별 제어 변동범위가 그림 11 (d)인 무차원화 커패시터의 비가 1.0에서 가장 작지만, 출력전압특성이 작아진다. 따라서 본 논문에서는 그림 11 (c)인 무차원화 커패시터의 비가 0.9이고, 특정한 무차원화 주파수( $\mu=1.08$ )에서 듀티 제어를 고려한 출력전압 범위로

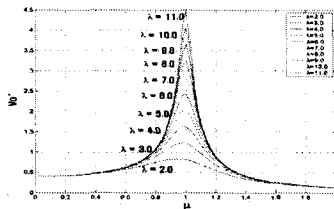
0.8에서 1.15로 가변되는 특성을 선정하였다.

## 2.4 회로 설계

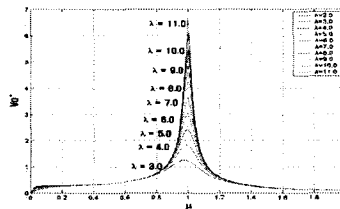
기본 설계 사양으로 입력전압  $V_{cin}[V]$ , 출력전력  $P[W]$ 가 주어졌을 경우, 회로해석을 통해서 얻은 특성 평가치와 이론치를 근거로 하여 최적인 회로정수를 구하기 위한 회로 설계 과정의 일에는 다음과 같고, 표 2는 설계된 회로정수를 보여주고 있다.

Step 1	$V_{cin}=294[V]$ , $P=2[kW]$ (이송대차당)
Step 2	$\mu=1.08$ , $\lambda=2.22$ , $b1=0.9$
Step 3	$P^*_{max}=0.38$ , $V^*=1.02$
Step 4	$Z_s=16.43$
$Z_s = \frac{294^2 \cdot 0.38}{2000} = 16.43$	
Step 5	$L_r=81.7[\mu H]$ , $C_s=1.21[\mu F]$ , $C_p=1.09[\mu F]$

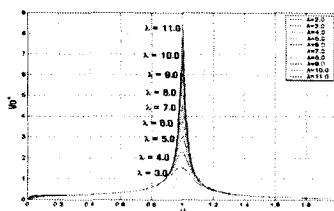
먼저,  $L_r=81.7[\mu H]$  선정,



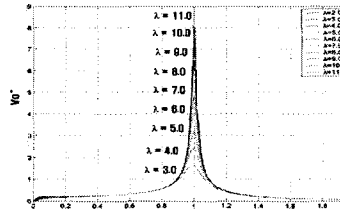
(a)  $b1=0.0$



(b)  $b1=0.5$



(c)  $b1=0.9$



(d)  $b1=1.0$

그림 11. 무차원화 커패시터 비 vs. 출력전압의 특성  
Fig. 11. Characteristic of  $b1$  vs.  $V_o^*$

$$C_s = \frac{81.7 \times 10^{-6}}{8.215^2} = 1.2106[\mu F]$$

$$C_p = b_1 \cdot C_s = 0.9 \cdot (1.21 \times 10^{-6}) = 1.0895[\mu F] \\ \approx 1.09[\mu F]$$

Step 6	$f_r = 16[\text{kHz}]$
--------	------------------------

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{81.7 \times 10^{-6} \times 1.21 \times 10^{-6}}} \\ = 16.007[\text{kHz}] \approx 16[\text{kHz}]$$

Step 7	$f_{sw} = 17.28[\text{kHz}]$
--------	------------------------------

$$f_{sw} = \mu \cdot f_r = 1.08 \cdot 16 \times 10^3 = 17.287[\text{kHz}] \\ \approx 17.28[\text{kHz}]$$

Step 8	R=36.47
--------	---------

$$R = \lambda \cdot Z_s = 2.22 \times 16.43 = 36.474 \approx 36.47$$

Step 9	V=300[V]
--------	----------

$$V = V^*(z) \cdot E_s = 1.02 \times 294 = 299.88[V] \approx 300[V]$$

## 2.5 실험

그림 12는 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터 시작품의 실험 블록도를 보여주고 있다. 그림 12에서 보듯이 1차측 전원공급장치는 커플러의 1차측 파워 트랙의 공진전류를 제어입력으로 받아 일정한 공진전류를 유지하도록 제어하였으며, 2차측 전원공급장치는 이송대차간의 독립제어를 위하여 각 이송대차의 출력전압을 제어입력으로 받아 이송대차의 출력전압을 가·감속의 부하변동에 대하여도 일정하게 유지되도록 승압 컨버터를 이용하여 제어하고 있다. 2차측 전원공급장치는 이송대차 2대로 구성하여 실험을 행하였다. 또한 디지털 부분으로 TI사의 TMS320LF2407을 적용한 1차측 제어기는 공진전류를 RMS to DC 컨버터를 통해 제어기로 피드백 되도록 구성하였고, 2차측 제어기는 각각의 출력전압을 독립적으로 제어하기 위해 승압 컨버터를 사용하여 각각의 출력전압을 피드백이 되도록 구성하였다. 또한 각종 보호회로를 하드웨어적으로 구성하였고, 공진 DC/DC 컨버터의 게이트 신호를 DSP 코어의EVM 1에서 직접 발생하도록 구현하여 노이즈 및 게이트

표 2. 회로정수의 설계  
Table. 2. Design of circuit parameter

User specification	
Vcin	294[V]
P	2[kW]
Parameter	
$\lambda$	2.22
$\mu$	1.08
b1	0.9
Value of theoretical characteristic	
P*	0.38
V*	1.02
Circuit parameter	
Lr	81.7[ $\mu$ H]
Cs	1.21[ $\mu$ F]
Cp	1.09[ $\mu$ F]
Req	36.47
$f_r$	16.0[kHz]
$f_{sw}$	17.28[kHz]
Zs	16.43
Vco	300[V]

신호의 신뢰성을 고려하여 제작하였다.

표 3은 실험에 사용되어진 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터 시작품의 실험사양을 나타내고 있다. 이송대차 1대의 출력용량은 2[kW]가 되도록 제작하였다.

그림 13은 설계에 의해 제작된 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터의 시작품을 보여주고 있다. 그림 13에서 보듯이 1대의 1차측 전원공급장치와 2대의 2차측 전원공급장치로 구성되어진 시스템을 보여주고 있다. 또한 이송대차의 실험 전체 레이아웃은 전체 이송구간은 2개의 직선구간과 90도의 곡률반경 1[m]인 1 개의 곡선구간으로 구성되도록 하였다.

그림 14는 직·병렬공진 DC/DC 컨버터의 암양단 전압(VAB)과 파워 트랙에 흐르는 공진 전류(iLr)의 정상상태 실험파형을 보여주고 있다. 그림 14에서 보는 바와 같이 스위칭 주파수는 17.3[kHz]와 ZVS 기능을 하는 유도성 패턴으로 동작되고 있으며, 1차

비접촉 전원장치에 적용한 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터에 관한 연구

측 전원공급장치와 연결된 커플러의 1차측 파워 트랙에 흐르는 공진전류의 실효값을 120[A]로 유지되도록 듀티제어를 이용하여 듀티비를 일정하게 제어하는 것을 알 수 있다.

그림 15는 2차측 전원공급장치에 탑재된 이송대차 1대의 출력전압( $V_{co}$ ), 출력전류( $i_{ro}$ )와 1차측 전원공급장치와 연결된 커플러의 1차측 파워 트랙에 흐르는 공진전류( $i_{lr}$ )의 실험파형을 보여주고 있다. 그림 15에서 보듯이 2차측 전원공급장치가 무부하에서 1[kW], 2[kW]로 부하 변동되었을 경우에도 출력전압의 변동과 1차측 전원공급장치와 연결된 커플러의 1차측 파워트랙의 공진전류가 변화없이 독립적으로 잘 적응함을 알 수 있다.

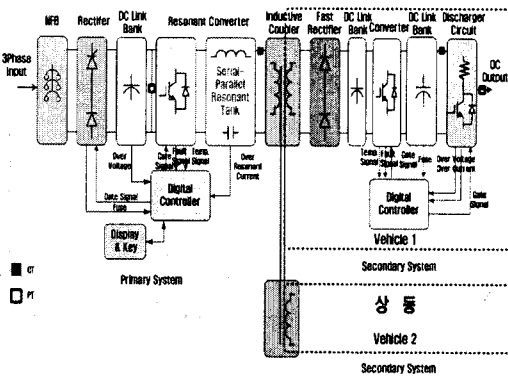


그림 12. 비접촉 전원장치 시제품의 실험 블록선도  
Fig. 12. Experimental block diagram of prototype CPS system

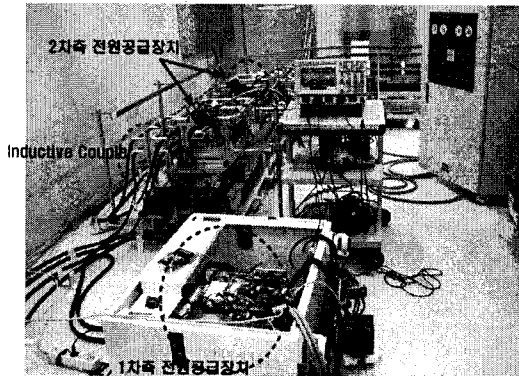
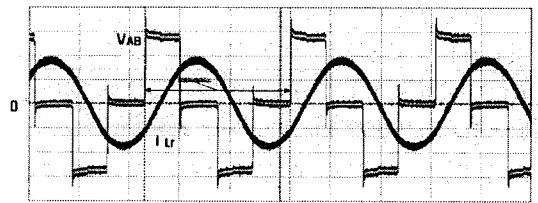


그림 13. 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터를 적용한 시제품  
Fig. 13. Experimental equipment of prototype CPS system

그림 16은 2대의 이송대차를 차례로 기동하는 경우, 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터의 입력 DC전압 ( $V_{cin}$ )과 입력 DC전류( $i_{ro}$ )의 기동상태 실험파형을 보여주고 있다. 그림 16에서 보듯이 2대의 이송대차를 가속, 기동, 정지하였을 경우에 대한 입력전압과 전류에 대한 상태를 보여주고 있으며, 그 결과 잘 적응하고 있음을 알 수 있다.

표 3. 비접촉 전원장치 시제품의 실험 파라미터  
Table 3. Experimental parameter of prototype CPS system

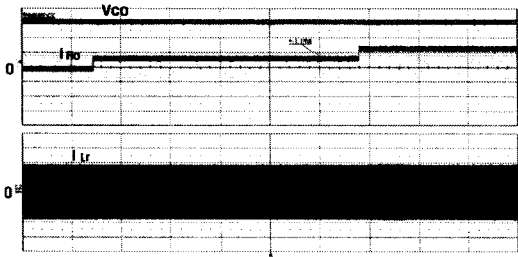
Item	Symbol	Value/Plant
파워트랙 공진리액터	$L_r$	81.7[ $\mu$ H]
1차측 공진 커패시터	$C_s$	1.21[ $\mu$ F]
2차측 공진 커패시터	$C_p$	1.1[ $\mu$ F]
Power Switches (IGBT)	$S_1 \sim S_4$	SKM400GB128D (400[A])
정류 다이오드	$D_1 \sim D_4$	SKKD105F (100[A], $t_{rr}:0.5[\mu s]$ )
Boost IGBT	$S_{b1}$	SKM75GAL123D (75[A])
공진 주파수	$f_r$	15.95[kHz]
스위칭 주파수	$f_{sw}$	17.3[kHz]
파워트랙 길이	Track [m]	38[m]
이송대차 용량	Power	2[kW]
이송대차 대수	대	2



100[V/div]( $V_{AB}$ ), 100[A/div]( $i_{LR}$ ), 20[ $\mu s$ /div]

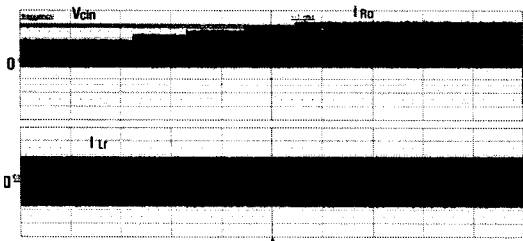
그림 14.  $V_{AB}$ ,  $i_{LR}$ 의 정상상태 실험파형  
Fig. 14. Experimental waveforms of  $V_{AB}$ ,  $i_{LR}$  on steady state





100[V/div](Vco), 100[A/div](iLr),  
5[A/div](iRo), 200[ms/div]

그림 15. Vco, iLr, iRo의 정상상태 실측파형  
Fig. 15. Experimental waveforms of Vco, iLr, iRo on steady state



100[V/div](Vcin), 20[A/div](iRo),  
100[A/div](iLr), 5[s/div]

그림 16. 입력전압(Vcin), 입력 전류(iRo), 공진전류(iLr)의 과도상태 실측파형  
Fig. 16. Experimental waveforms of Vcin, iLr, iRo on transient state

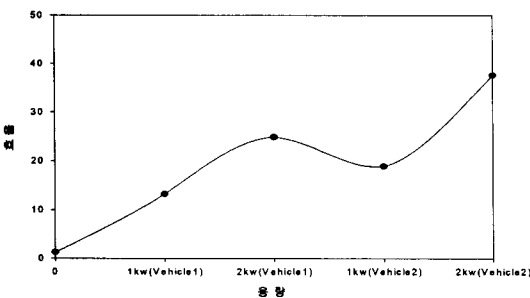


그림 17. 효율 특성  
Fig. 17. Efficiency characteristics

그림 17은 이송대차 2대를 정지 상태와 차제로 기동한 상태, 동시에 기동한 상태일 경우 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터의 효율을 보여주고 있다. 전반적으로 살펴본 결과 적용해야 할 물류이송장비의 특성

상 inductive coupler의 1차측 파워 트랙 길이가 길어짐에 따른 누설리액터 성분에 의해 효율이 떨어지는 부분이 발생하지만, 파워 트랙에 이송대차의 수가 증가할 경우 다소 효율이 좋아지는 특성을 볼 수 있다. 하지만 무한정의 이송대차의 수를 증가할 수 없으므로 1차측 전원공급장치의 용량을 고려한 이송대차의 수를 결정하여야 한다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 FPD산업에서 물류이송장비의 전원장치로 직접축 전원장치에 적용한 풀 브릿지 구조를 갖는 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터 회로의 구조와 무차원화된 회로 해석, 특성평가 및 설계를 행하였고, 설계의 일례를 바탕으로 2[kW] 출력용량을 가지는 물류이송 장비의 이송대차 2대를 시작으로 제작하여 실험을 행하여 양호한 특성을 가지므로 이론 특성 및 설계의 타당성을 검증하였다. 또한 직·곡선 구간이 혼용된 물류이송장비에 적용하여 다음과 같은 양호한 특성을 얻었다.

- 1) 직·곡선 구간이 혼용된 구간에서 이송대차가 곡선구간에서도 2차측 전원공급장치가 동작 가능하였다.
- 2) 1차측 전원공급장치의 스위칭 주파수를 17.3 [kHz]로 동작하여 1차측 전원공급장치와 연결된 inductive coupler 1차측 파워 트랙의 공진 전류 실효값을 120[A]로 유지되도록 1차측 전원공급장치의 듀티 제어 가능함을 알 수 있었다. 또한 듀티 제어에 의한 일정한 공진 전류로 최대 2[kW] 출력용량을 가지는 이송대차 2대를 동작 가능하였다.
- 3) 다수의 이송대차가 다양한 운용 시나리오에도 다수의 이송대차간 독립제어가 가능함을 알 수 있었다.
- 4) 통신에 제약을 받지 않고 공진 DC/DC 컨버터의 고정부 1대와 이동부 다수인 이송대차의 제어가 가능함을 알 수 있었다. 이는 물류이송 장비의 증설과 확장에 대해 1차측 전원공급장치와 inductive coupler의 1차측 파워 트랙을 유동성 있게 배치하여 대응할 수 있음을 알 수 있다.

따라서 직·병렬 공진 DC/DC 컨버터의 시작품을 직·곡선 구간이 혼용된 물류반송 장비에 적용도 가능함을 알 수 있었다.

### References

- [1] 강성룡, "2005 부품·소재로드맵 총론", 산업기술재단, pp.165-170., 2005. 12.
- [2] 강성룡, "2005 부품·소재로드맵 반도체·디스플레이 장비부품", 산업기술재단, pp.474-579, 2005. 12.
- [3] K. W. Klontz, D. M. Divan, D. W. Novotny and R. D. Lorentz, "Contactless Power Delivery System for Mining Applications", IEEE Tran. on Industry Application, Vol. 31, No. 1, pp.27-35, 1995.
- [4] Gye-Ho Hwang, Dong-Hee Kim, "A Study on the LCC type High Frequency DC/DC Converter for Contactless Power Supply System", Journal of the KIIEE, Vol. 21, No. 6, pp.55-64, 2007, July.
- [5] Dong-Hee Kim, Gye-Ho Hwang, "A Study on the Contactless Power Supply System for Stocker system", Journal of the KIIEE, Vol. 21, No. 1, pp.148-156, 2007, Jan.
- [6] J. Meins, "Contactless Power Supply for Transport Systems", in Conf. Rec. of MAQLEV'98, pp.268-273, 1998.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 황계호 (黃啓鎬)

1972년 4월 7일생. 1997년 강원대 삼척캠퍼스 공대 제어계측공학과 졸업. 1999년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년 9월~현재 (주)신성이엔지 기술연구소 선임연구원.

#### 이봉섭 (李奉燮)

1965년 9월 19일생. 1991년 영남대 전기공학과 졸업. 1993년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 강원대학교 삼척캠퍼스 공학대학 전기제어공학부 교수.

#### 김동희 (金東熙)

1950년 11월 20일생. 1973년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 Kobe대학 졸업(박사). 1987~1989년 한국전기연구소 전력전자 연구부장. 1999년 5월~2000년 4월 대한전기학회 전력전자연구회 간사장. 2000년 9월~2001년 2월 국립 Kyushu대 교환교수. 한국조명·전기설비학회 학술위원. 현재 영남대 공대 전기공학과 교수.