

무접점 전원공급 시 1차측 전류를 이용한 금속 물질 검출에 관한 연구

김유석¹, 유주희², 김춘삼¹, 성원기[†]

The Metal Detection using Primary Current in Contact-less Power Supply

Yu-Seok Kim¹, Joo-Hee Yu², Choon-Sam Kim¹, and Won-Ki Sung[†]

Abstract - The impurity detection method applied to existing discriminated the normality(R, L, C) and impurity(Metal) load using mutual RFID/ID method in the contactless power supply in which the primary side and the secondary side are completely separation by using the contactless transformer. However, this kind of system is caused the high cost of the system and complexity of control. Therefore, in this paper was proposed the contact-less power transfer using the primary current that determine normality or impurity load by compare the primary current Amplitude to reference quantity value and design the 3[W] contact-less power transfer and conduct an experiment for demonstrate the validity.

Keywords: contactless power transfer, normality/impurity load, contactless transformer

1. 서 론

현재 다양한 산업 분야에서 어떠한 접점 없이 전원단에서 부하로 전력을 공급하는 무접점 전원공급 시스템의 연구와 그 이용율이 증가하고 있다.

어떠한 접점 없이 변압기의 전자기 유도 현상을 이용하는 무접점 전원공급 시스템은 휴대 전화의 배터리 충전이나 디지털 카메라, MP3 등과 같은 모바일 기기, 인공 장기에 전력을 전달하는 장치, 전기 자동차의 배터리 충전, 그리고 습기가 많고 위험한 환경에서 널리 이용되고 있다.^{[1][2][3]}

이러한 시스템을 구성하는데 있어서 1, 2차측 상호간에 전력을 공급하기 위해서는 변압기를 필요로 하게 된다. 하지만 코어가 적용되는 일반적인 변압기의 구조는 소형화가 필수적인 무접점 전원공급 시스템에서 부피를 증가시키게 되어 일반적인 변압기 사용이 불가피하므로, 시스템의 소형화에 적합한 리프 와이어로 시스템을 구

성한다.

무접점 전원공급에 있어서 기존의 시스템은 1차측과 2차측이 완전히 분리되어있기 때문에 2차측에 대한 정보를 1차측에 전달하기 위해서는 1차측과 2차측 각각에 제어기를 필요로 하게 된다.

이러한 RFID/ID 통신을 이용한 시스템은 1차측과 2차측에 제어기들이 따로 존재하여 시스템의 전체적인 비용이 증가하게 되고 제어의 복잡성이 야기되었다.^{[4][5]}

따라서 본 논문에서는 1차측에 하나의 제어기를 이용해 1차측에 흐르는 전류를 전류검출 저항을 이용한 전류 값과 전류검출 저항에 나타난 전압을 이용하여 이물질 검출한다.^[6] 그리고 시스템의 동작에 대한 타당성을 증명하기 위하여 3[W]급 시스템을 설계하였다.

2. 본 론

2.1 무접점 전원공급 시스템

2.1.1 무접점 변압기

1차측과 2차측을 절연하여 전력을 전달하기 위하여 일반적으로 전자기 유도현상을 이용하는 변압기가 이용되고 있다. 그러나 무접점 전원공급 시스템을 구성함에 있어서, 일반적인 변압기는 코어와 보빈에 의한 부피 증가가 따르기 때문에 본 시스템에서는 적용이 불가능하다. 현재 무접점 전원공급에 있어서 규정된 주파수는 약

Paper number: TKPE-2012-17-5-10 ISSN: 1229-2214

[†] Corresponding author: sungwk@kangwon.ac.kr

Electronic Engineering, Kangwon Nat'l Univ.

Tel: +82-33-570-6354 Fax: +82-33-570-6359

¹ Control & Insurumentation Engineering., Kangwon Nat'l University

² Korea Electrotechnology Research Institute

Manuscript received Apr. 18, 2012; accepted Sep. 3, 2012

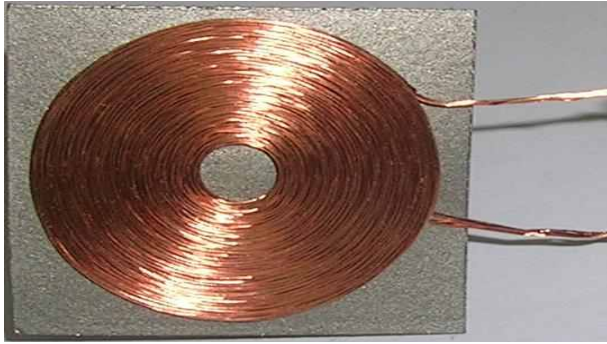


Fig. 1 The litz wire consisting of multiple strands

130~140kHz 정도 사이이다.^[5] 이러한 고주파수에서는 표피효과와 근점효과에 의해서 1차측 권선의 ESR (Equivalent Series Resistance)은 직류 전원에서보다 더 커지게 된다. 이러한 사실은 스위칭 소자의 높은 도통 손실과 전력 변환 효율이 낮아지는 결과를 초래하며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서 그림 1에 나타난 여러 가닥으로 절연된 와이어(Litz wires)가 적용된다.

그림 1에서 보이는 코일 뒷면에 부착된 차폐지의 역할은 코일이 고주파 전류에 의하여 양쪽 면에서 자기장을 형성하는 경우 1차측 코일과 2차측 코일이 접촉하여 상호간에 전력을 전달할 때 자로를 형성하지 않는 면을 차폐하여 누설자속을 줄여 시스템의 효율을 높이기 위한 수단으로 이용하였다.

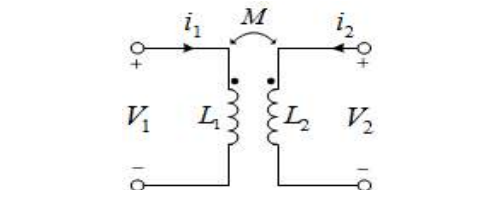
그림 2는 무접점 변압기의 등가 모델을 나타낸다. 그림 2의 (a)는 공극을 갖는 무접점 변압기의 기본 모델을 나타내며 V_1 , V_2 는 각각 1차측 입력전압과 2차측 출력전압, L_1 과 L_2 는 각각 1, 2차측의 자기 인덕턴스를 나타내고, M 은 1, 2차측 상호간에 영향을 주는 상호 인덕턴스를 나타낸다.

무접점 변압기의 기본 모델에서 상호 인덕턴스에 대하여 T 등가회로로 나타낸 후 이상적인 변압기(a)를 추가하여 변압기 1차측과 2차측에 대한 등가모델을 나타내면 그림 2의 (b)와 같다. 1차측은 자기 인덕턴스와 누설 인덕턴스 그리고 1차측에서 2차측으로 에너지를 전달하기 위한 자화 인덕턴스로 구성되며 2차측은 자기 인덕턴스와 누설인덕턴스로 등가화 할 수 있다.^{[7][8]}

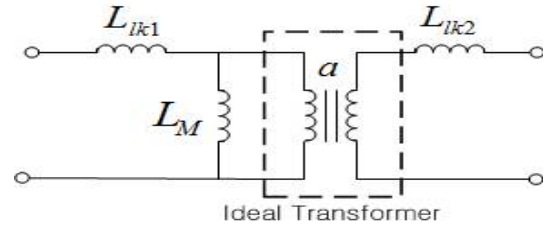
2.1.2 직렬 공진 컨버터

일반적으로 높은 스위칭 주파수에서 동작하는 PWM(Pulse width modulation) 방식의 컨버터는 스위칭 On, Off 시 비 영전압, 비 영전류에서 동작하기 때문에, 결과적으로 고주파 동작, 낮은 효율, 낮은 자화 인덕턴스에 의해 증가된 자화 전류로 인하여 높은 도통손실을 갖기 때문에 무접점 전원공급 시스템에 적용이 불가능하다.

또한, 리쯔 와이어를 이용하는 경우에는 1차측과 2차측간의 자기 경로에 큰 공극으로 인하여 낮은 자화 인



(a) Basic model of contact-less transformer



(b) Equivalent model of contact-less transformer

Fig. 2 Equivalent model of contact-less transformer

덕턴스와 높은 누설인덕턴스를 가지게 되고, 결과적으로 결합계수가 낮아지는 문제점이 있으며, 또한 감소된 자화 인덕턴스는 자화 전류를 증가시켜 스위칭 소자의 도통 손실을 증가시킨다.

EMI(Electromagnetic interference), 스위칭 도통 손실과 같은 위에서 언급된 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 그림 3에서 나타낸 L과 C를 이용한 직렬 공진 풀-브리지 컨버터를 설계, 적용하였다.

직렬 공진 컨버터는 공진 주파수와 스위칭 주파수의 관계에 따라 ZVS(Zero Voltage Switching) 및 ZCS(Zero Current Switching) 동작을 한다. 스위칭 주파수가 공진 주파수보다 큰 경우에 LC 공진 회로를 지나는 전류와 전압은 전류가 지상인 유도성 패턴의 형태를 나타내게 된다. 이때 다이오드를 통하여 순환전류가 흐르는 동안 영전압이 걸려있는 스위치를 턴온 시키므로 ZVS 영역에서 스위칭이 가능해진다.^[9]

직렬 공진 컨버터의 공진 주파수 식 (1), 무접점 변압기 2차측 단락 후 측정된 등가 인덕턴스 식 (2)와 부하 저항, 2차측 정류 다이오드, 커패시터 필터를 등가화 한

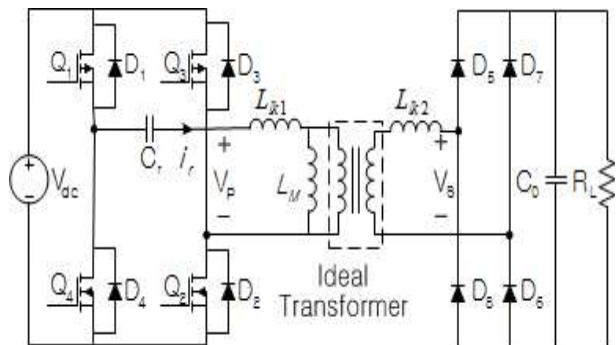


Fig. 3 Series resonant converter

등가 부하저항 식 (3) 그리고 부하에 따른 DC 전압 이득 특성 식 (4)을 알아보기 위한 수식은 다음과 같다.^[7] 그림 4는 식 (1)에서 식 (7)의 수식에 따른 직렬 공진 컨버터의 DC 전압 이득 특성 곡선을 나타낸다. Q는 Load quality factor로서 부하가 작을수록 Gain의 피크 값이 커지지 되고 출력전압이 높아지게 된다. 스위칭 주파수와 공진 주파수의 비에 따라 ZCS와 ZVS영역이 바뀌게 되고 일정한 출력전압을 얻기 위해서 스위칭 주파수를 변화시키는 것이 필요하게 된다. ZVS 스위칭 동작을 위해서는 스위칭 주파수가 공진 주파수보다 커져야 하는데, 식 (1)을 통하여 계산된 공진 주파수(125[kHz])보다 높은 영역에서 스위칭 주파수를 선정하여야 하는 것을 알 수 있다.

2.2 이물질 검출 방식

무접점 전원공급에 있어서 비정상 부하에 해당하는

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq} \times C_r}} \tag{1}$$

$$L_{eq} = \frac{L_M \times L_{lk2} N^2}{L_M + L_{lk2} N^2} + L_{lk1} \tag{2}$$

$$R_{eq} = \frac{8}{\pi^2} R_L \tag{3}$$

$$G_V = \frac{1}{N} \left| \frac{1}{1 + \frac{L_{lk1}}{L_M} - \beta_f + jQ \left(\frac{f_s}{f_r} - \frac{f_r}{f_s} \right)} \right| \tag{4}$$

$$\beta_f = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_M C_r} \tag{5}$$

$$Q = \frac{2\pi f_r \alpha L_{eq}}{N^2 R_{eq}} \tag{6}$$

$$\alpha = \left(\frac{1}{N^2} + \frac{L_{lk2}}{L_M} \right) \tag{7}$$

f_r : 공진 주파수, f_s : 스위칭 주파수, N : 권선 비
 C_r : 공진 캐패시터, L_M : 자화 인덕턴스
 L_{lk1} : 1차측 누설 인덕턴스, L_{lk2} : 2차측 누설 인덕턴스

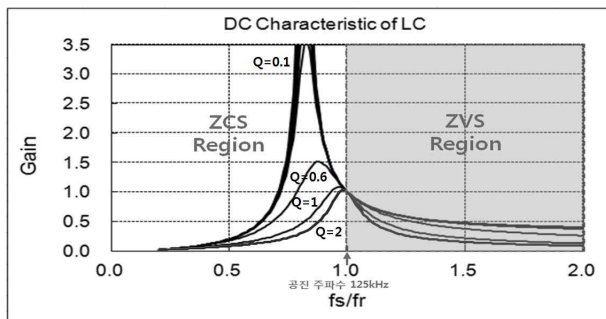
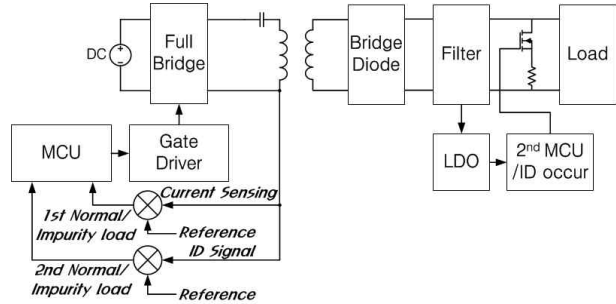
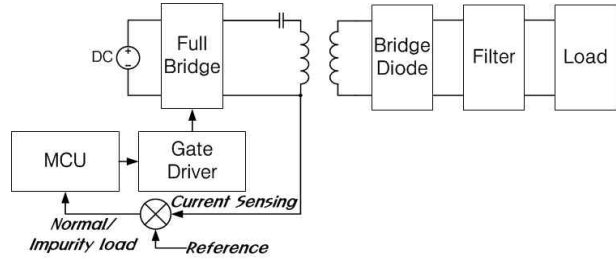


Fig. 4 DC characteristic curve of series resonant converter



(a) Existing contact-less power supply system



(b) Proposed contact-less power supply system

Fig. 5 Block diagram of contact-less power supply system

금속 물질에 대한 검출은 반드시 필요로 되는 부분이며, 금속 물질 검출 방식은 전류 이용, 전압 이용, 전류와 전압을 이용하는 방식 그리고 그림 5의 (a)에 나타난 바와 같이 서론에서 대두되었던 1차측과 2차측간의 RFID/ID 통신 방식이 있다.

전체적인 시스템의 동작은 정상 부하의 경우 1차측 제어기에서 Gate Driver에 스위칭 신호를 인가하고, 풀-브리지 직렬 공진형 컨버터에서 발생된 교류 신호는 무접점 변압기를 통하여 2차측으로 인가된다. 2차측으로 인가된 신호는 다이오드를 통하여 정류되고 부하에 전력을 공급하게 된다. 비정상 부하의 경우는 1차측 제어기에서 비정상 부하로 인식하여 스위칭 신호를 차단함과 동시에 전력 공급을 중단한다.

그림 5의 (a)에서의 시스템은 무접점 변압기를 중심으로 1차측과 2차측으로 나눌 수 있으며, 기존의 무접점 전원공급 시스템은 1차측의 MCU와 2차측의 MCU 두가지를 이용한다. 먼저 2차측에서 사용자가 정상 부하와 비정상 부하의 인식을 위하여 설정한 값(ID 신호)이 2차측 MCU로부터 발생하면 2차측 DC Link와 병렬로 연결된 MOSFET를 ON/OFF함으로써 2차측 MCU에서 설정된 값이 1차측으로 입력되어 정상/비정상 부하를 인식한다. 이러한 방식은 2차측 회로에 추가적인 부품들과 프로그램 및 알고리즘의 복잡성을 야기한다.

본 논문에서는 그림 5의 (b)의 개요도에서 나타난 것처럼 2차측 부하단의 제어기 및 스위칭 소자등의 부가적인 회로가 불필요하며, 정상/비정상 부하를 검출하는 1차측 제어기에서는 검출된 전류의 값을 이용하여 기존의 회로보다 적은 부품수, 낮은 단가, 간단한 제어 방

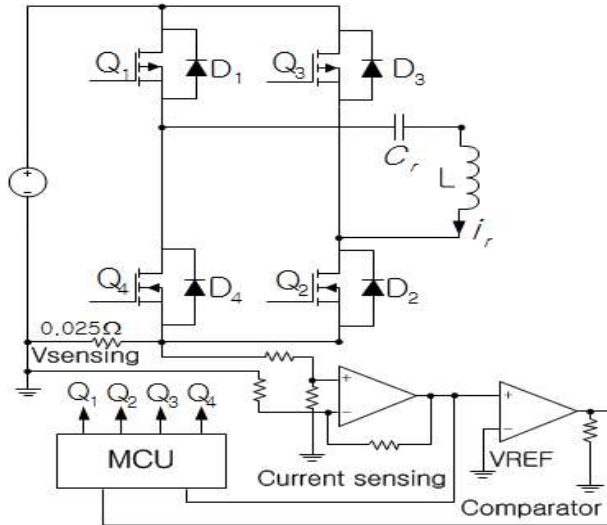


Fig. 6 Impurity load detection circuit of system

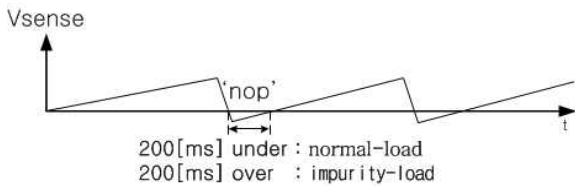


Fig. 7 The awareness about the case where the detection signal is insufficient in the normal load

식을 가지고 정상 부하와 비정상 부하를 판별한다.

그림 6은 본 실험에 적용된 1차측의 LC 공진 회로와 제어기 구성 및 정상/비정상 부하 검출회로를 나타낸다.

Q1, Q3은 P채널 MOSFET, Q2, Q4는 N채널 MOSFET로 구성하였다. 전류의 검출을 이용하는 방식은 전력변환장치의 1차측 전류 검출용 저항에 흐르는 전류에 대하여 형성된 전위차를 op-amp를 통하여 증폭하고 시스템에 적용된 제어기(ATmega48)에서 A/D 변환을 통하여 코일의 최소, 최대값과 비교하여 1차적으로 정상, 비정상 부하를 판별하며, 또한 OP-AMP를 통하여 증폭된 신호에 대하여 발생하는 신호를 Comparator(Zero-crossing detector)를 통하여 기준 레벨(Vref)과 비교하였을 때, 기준 신호와 만나는 점이 검출될 경우는 1차측 제어기에서 비정상 부하로 인식하고, 기준 신호와 만나는 부분이 발생되지 않거나 기준 신호와 만나는 신호의 크기가 미비한 경우는 정상 부하로 인식하도록 시스템을 구성하였다.

Comparator를 통하여 검출된 신호가 미비한 경우에 대한 인식은 그림 7에 나타낸것처럼 어셈블리어 명령의 하나인 “nop(no operation)” 명령을 이용하여 제어기에 아무런 동작 없이 다음 명령의 실행을 지연시켜 약 200[ms]의 지연시간을 주었다. 따라서 200[ms] 이내의 미비한 신호에 대해서는 인지하지 못하도록 프로그램을

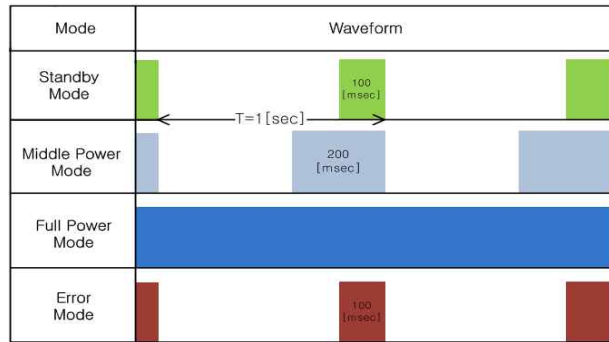


Fig. 8 Timechart for switching

작성하였다.

무접점 전원공급 시 정상 부하와 비정상 부하를 감지하기 위한 스위칭 타임차트를 그림 8에 나타내고 시스템의 전반적인 제어 알고리즘을 그림 9에 나타낸다.

1[sec]를 한 주기로 보고 1차측 무접점 변압기에 2차측 부하가 근접하지 않을 때, 1차측 제어기는 간헐적으로 100[msec]의 스위칭 On 시간과 900[msec]의 스위칭 Off 시간을 갖는다. 이 기간 동안 시스템의 1차측에 부하가 근접하는 경우 시스템은 전류의 크기를 검출하는데, 그림 6에서 센싱되는 전류의 값은 코일의 최소, 최대값과 비교하게 되고 비교시에 코일의 최소값은 100[mA] 코일의 최대값은 820[mA]를 가진다. 이 때, 전류의 크기가 코일의 최소값보다 작은 경우는 계속 간헐적인 스위칭 상태로 되돌아가 1차측엔 부하가 없다고 판단하며, 전류의 크기가 코일의 최소값 보다 큰 경우, 코일의 최대값과 비교를 하게 된다.

전류의 값이 코일의 최대값과 비교하여 전류의 값이 큰 경우는 1차측 제어기에서 비정상 부하로 인식하여 스위칭 동작을 강제적으로 차단하고 비정상 부하임을 Red LED를 통해 알리며, 전류의 값이 코일의 최대, 최소값에 존재하는 경우는 1차적으로 정상부하로 인식하여 200[msec]의 미들 파워 모드로 전환된다.

이 과정에서는 영전압 검출을 통하여 2차적으로 정상, 비정상 부하를 인식하게 되는데 기준점과 만나는 지점이 발생하는 경우는 비정상 부하로 인식하여 스위칭을 차단하고, 기준점과 만나는 지점이 발생하지 않고, 그 값이 미비한 경우는 정상 부하로 인식하여 풀 파워 모드로 전환되어, 2차측의 부하에 전력이 공급된다.

이 때 시스템의 오동작을 방지하기 위하여 전류를 연속적으로 검출하여 가열되는 금속물질로부터 시스템을 보호한다.

2.3 시뮬레이션 및 실험 결과

2.3.1 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 전류검출 방식의 정상 부하와 비정상 부하에 대한 인식은 앞서 서술한 바와 같이 1차적으로 1차측에 흐르는 전류의 크기, 2차적으로 전류 검출

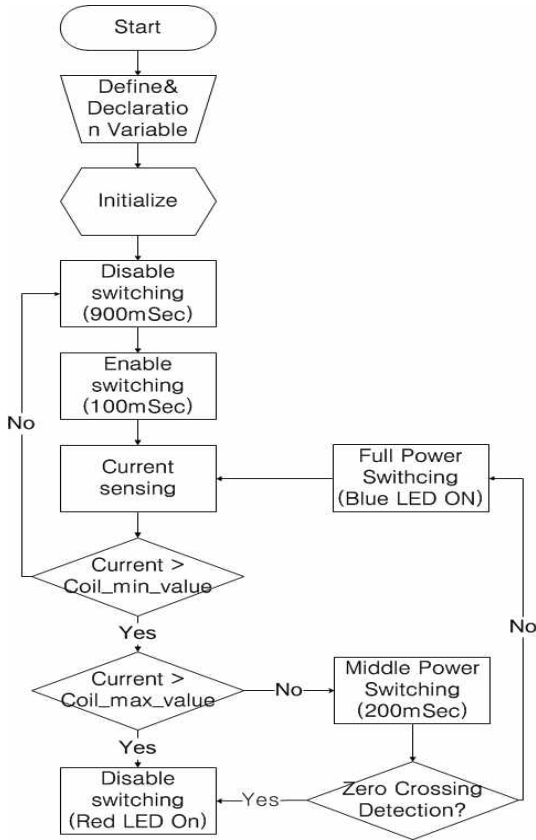


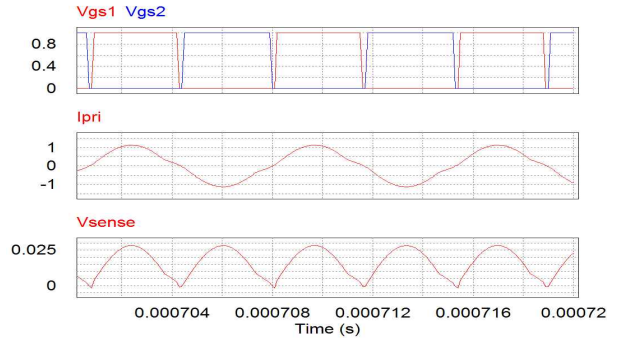
Fig. 9 Flow chart of the control algorithm

저항을 통하여 검출된 신호를 통하여 인식하게 된다. 위의 내용에 대한 과형을 확인하기 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 정상 부하에 대한 시뮬레이션은 그림 2와, 그림 6의 회로를 이용하여 부하 전류 100[mA]에 대해서만 시뮬레이션을 수행하였고, 비정상 부하에 대한 시뮬레이션은 비접촉 변압기 2차측 인덕턴스와 정류회로를 제거한 후 부하 전류 100[mA]에 대해서만 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터는 표 1과 같고, 그림 10(a)의 정상 부하에 대한 시뮬레이션 결과로부터 Vsense의 파형이 기준점 부근에 있음을 알 수 있으며, 그림 10(b)의 시뮬레이션 결과로부터 Vsense의 파형은 영전위 기준 레벨 이하에 있음을 알 수 있다.

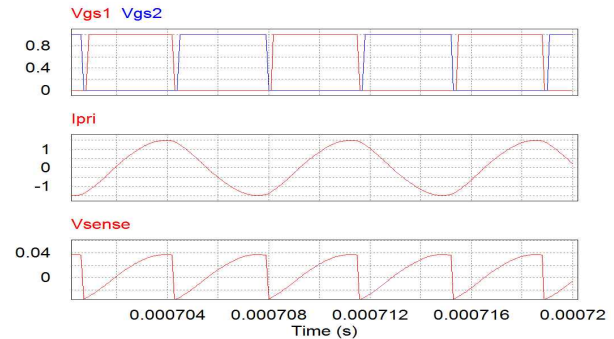
2.3.2 실험 결과

실험을 위하여 지금까지 소개된 회로 토폴로지와 제어방식을 이용하여 3[W]급 무접점 전원공급 시스템 설계 및 테스트를 수행하였다. 표 1은 시스템의 입출력 사양 및 시스템에 사용된 각종 파라미터를 나타낸다.

L과 C값을 이용해 식 (1)과 식 (2)의 식을 통하여 공진 주파수를 결정하였으며, 시스템의 도통 손실을 줄이기 위한 방편으로, ZVS 스위칭 동작을 위하여 스위칭 주파수를 공진 주파수 보다 높게 설정하였고, 시스템의 전반적인 제어는 AVR社의 ATmega48을 이용하였다.



(a) Normal-load



(b) Impurity-load

Fig. 10 The simulation about the normal and impurity load

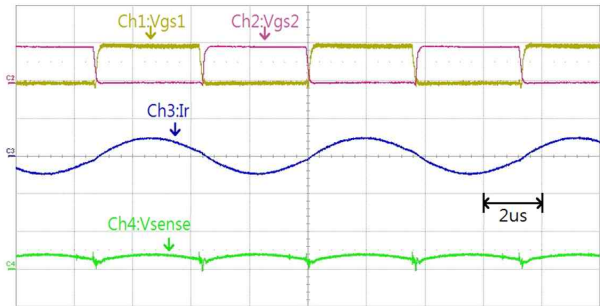
실험에 사용된 DC 입력 전원과 부하는 각각 DC Power Supply와 탐스기술의 TM2520A의 전자부하가 이용되었다. 또한 실제 무접점 전원공급 시스템의 기구물에 따라 1차측과 2차측간에 3[mm]의 갭이 사용되었다.

그림 11은 무부하시 과형을 나타내고 있다. Ch1(Q1, Q2), Ch2(Q3, Q4)는 스위칭 소자를 동작하기 위한 각각의 gate 신호를 나타내고 있으며, 약 2[%]의 데드타임을 가지고 있음을 알 수 있다. Ch3은 1차측에 흐르는 공진 전류의 과형을 나타내고 있다. 이 공진 전류의 과형은 그림 6의 1차측에서 스위칭 동작을 통하여 발생한 AC 전류로써, 이 전류 신호는 정상/비정상 부하를 판단하는 요소로 적용된다. Ch4는 Ch3의 공진 전류 과형에 대하여 전류 검출 저항(0.025옴)에서의 과형을 나타내고 있다. 검출된 신호에서 보이는 바와 같이 무부하시, 공진 전류 과형에 따라서 기준점을 중심으로 교변하는 과형을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 12는 정상 부하 시 동일 조건에서의 과형을 나타내고 있다. 이때 부하를 100[mA]에서 400[mA]까지 가변 측정하였으며, Ch4의 100[mA] 미비한 신호가 발생한 것을 제외하고는 무부하시 과형과는 다르게 영전위 기준 레벨 이상임을 알 수 있다. 100[mA]에서의 zero crossing 지점의 미비한 신호에 대해서는 앞서 설명한 바와 같이 제어기의 'nop'명령을 이용하여 200[ms]의 시스템 지연 시간을 주고, 200[ms] 이내의 신호는 정상부하로 인식하도록 시스템을 구성하였다.

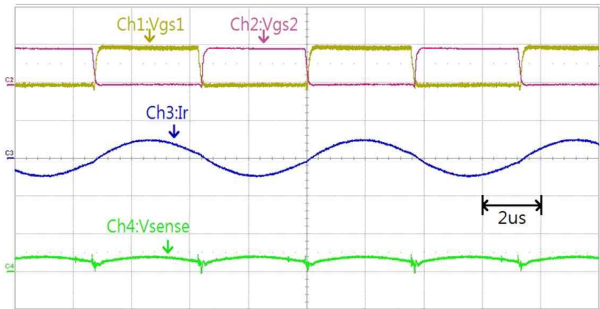
Table 1 Specifications of system

Parameter	Value
Input Voltage	5[V]
Output Voltage	5.9~4.6[V]
Out_Current	100~400[mA]
Resonant Frequency	125[kHz]
Switching Frequenc	137[kHz]
Resonant Capacitor	68[nF]
Mutual Inductance	15.5[uH]
Leakage Inductance	Primary side : 24.1[uH]
	Secondary side : 12.1[uH]
Controller	ATmega48
Switch	FDC5614P(Q1,Q3)/ FDC5612N(Q2, Q4)
Secondary-side Diode	SA10LA03
Secondary-side MOSFET	FDC5614P
Comparator	LM2904N/LM2903N



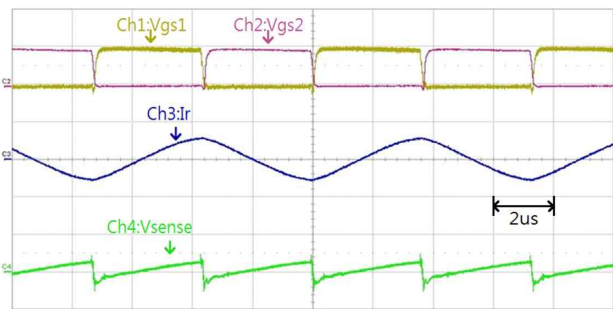
Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

(b) 200[mA]



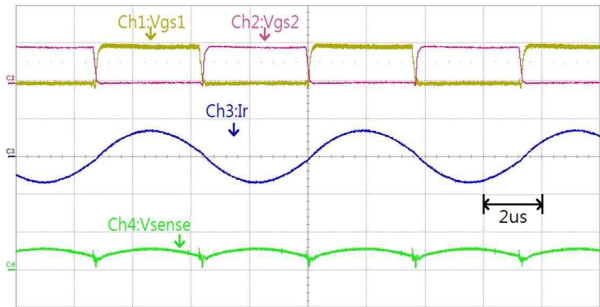
Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

(c) 300[mA]



Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

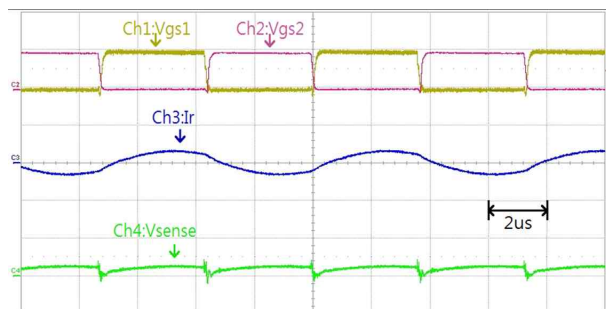
Fig. 11 Waveform in no-load



Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

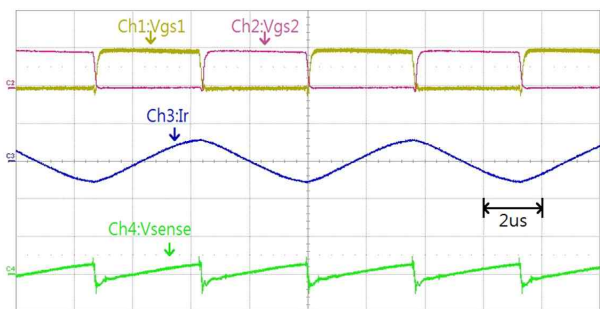
(d) 400[mA]

Fig. 12 Waveform in normal-load



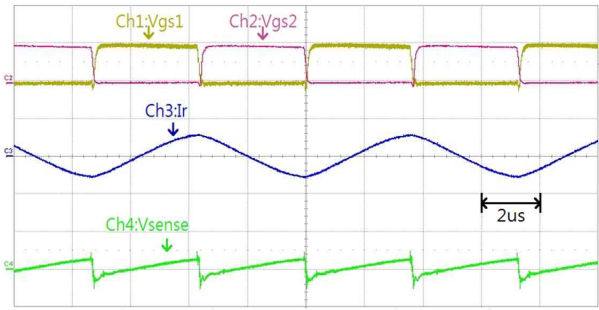
Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

(a) 100[mA]



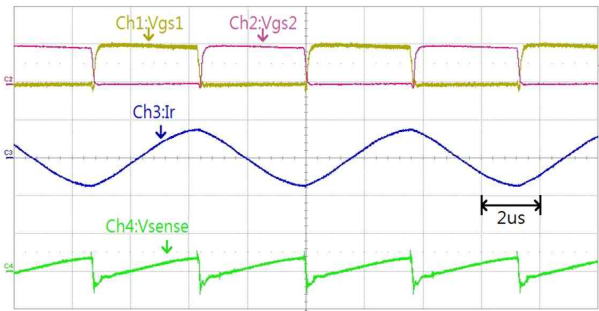
Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

(a) 100[mA]



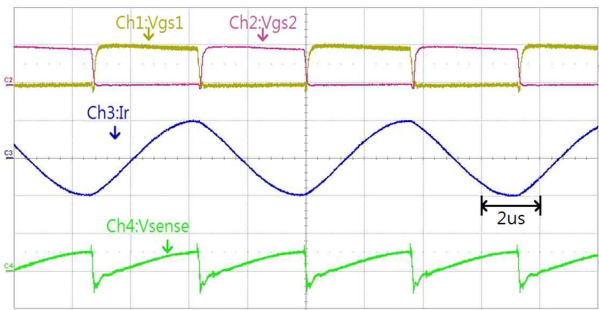
Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

(b) 200[mA]



Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

(c) 300[mA]



Vgs1	Vgs2	Ir	Vsenses
5.00V/div	5.00V/div	1.00mA/div	500mV/div

(d) 400[mA]

Fig. 13 Waveform in impurity-load

그림 13은 비정상 부하 시(네오디움 자석 적용) 파형을 나타내고 있다. Ch4의 검출된 신호들은 정상부하와 달리 무부하 시와 유사하게 영전위 기준 레벨 이하를 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 2는 정상 부하의 조건에서 입력에 대하여 측정된 출력값을 나타내고, 그림 14는 실험 후 측정된 부하 전류에 따른 효율 곡선을 나타내고 있다. 본 시스템에서의 효율은 중부하에 67%정도로 가장 높게 나타나고 있으며, 일반적인 컨버터와는 다르게 에너지 전달요소인 코일에 코어(core)가 존재하지 않기 때문에 결합계수가 낮다. 또한, 1차측 코일과 2차측 코일간 비교적 큰 공극으로 인하여 비교적 낮은 효율을 나타내고 있다.

Table 2 Experimental value

Input		Output		Efficiency [%]
Voltage [V]	Current [mA]	Voltage [V]	Current [mA]	
5		117	7.8	-
		187	5.9	100
		327	5.4	200
		452	5.1	300
		579	4.6	400

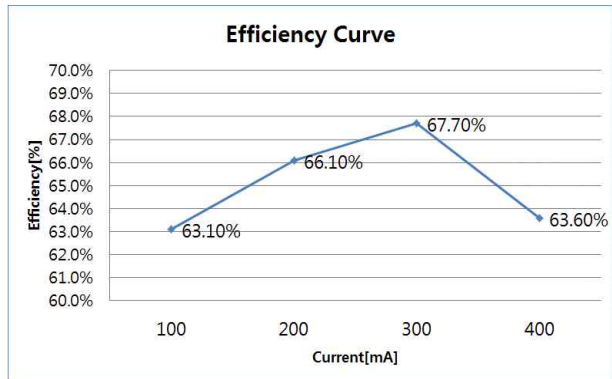


Fig. 14 Efficiency curve based on the load current

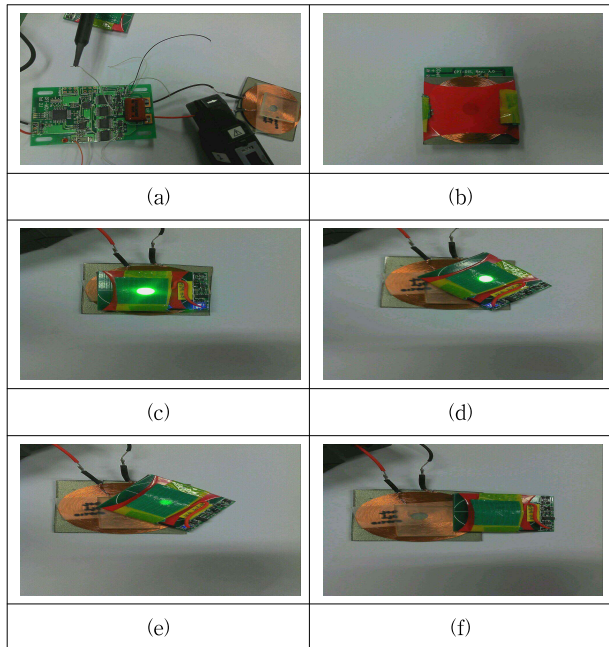


Fig. 15 Contact-less power supply using LED load

그림 15-(a)는 제작된 1차측 직렬 공진 컨버터와 제작된 1차측 무접점 코일을 나타내고, (b)는 2차측 정류부의 뒷면에 2차측 코일이 적용된 그림을 나타내고 있다. (c)부터 (f)는 정상부하에 해당하는 LED를 출력 부

Table 3 The comparison of the existing system and proposed system

Factor	RFID	Current Detection
Controller	2EA	1EA
Switch	7EA	4EA
Algorithm	Complexity	Simple
Cost	Expensive	Cheap
Bulk	Bulky	Small

하단에 적용하여 시스템의 동작 상태를 확인하는 그림을 나타낸다. 1차측과 2차측 코일간에는 실제 시스템 구성 시 두께를 고려하여 3[mm]의 갭을 적용하였다.

2차측 코일과 1차측 코일이 정위치에서 가장자리로 이동하면서 LED의 밝기가 점차 흐려지는 것을 나타낸다.

표 3은 기존의 시스템과 제안된 시스템을 나타낸 것으로 표에서 나타내는 바와 같이 본 논문에서 제안된 방식이 더 적은 수의 소자, 제어의 간편, 적은 비용, 작은 부피의 더 많은 장점을 가지는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 기존 방식에서의 여러 가지 단점들을 보완하기 위하여 무접점 전원공급 시스템에서 주요 기술 중 한 부분인 전류를 이용한 이물질 검출 방식을 제안하였다. 제안된 시스템은 자성체 코어를 사용하지 않아 시스템의 부피를 소형화 할 수 있으며, 2차측 제어기와 정보 전달용 스위치가 없어 간편한 제어와 단가 절감의 장점을 갖는다. 본 논문에서는 DC 전압 이득 특성 곡선을 통하여 스위칭 손실을 줄일 수 있는 ZVS 스위칭 영역을 그래프를 통하여 확인하였으며, 또한 제안된 전류 검출 방식의 무접점 전원공급 시스템을 통하여 정상 부하와 비정상 부하에 대한 판별을 기존의 시스템보다 간소화 할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안된 방식은 무접점 전원공급이 필요한 다양한 산업분야에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Adachi, S. -I.; Sato, F., Kikuchi, S., Matsuki, H., "Consideration of contactless power station with selective excitation to moving robot," *Magnetics, IEEE Transactions on*, pp. 3583-3585, Sep. 1999.
- [2] Klontz, K.W., Divan, D.M., Novotny, D.W., Lorenz, R.D., "Contactless power delivery system for mining applications," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, pp. 27-35, Jan. 1995
- [3] Huh, J., Lee, S.W., Lee, W.Y., Cho, G.H., Rim, C.T.,

"Narrow-Width Inductive Power Transfer System for Online Electrical Vehicles," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, pp. 3666-3679, Dec. 2011.

- [4] Thirimawithana, D.J., Madawala, U.K., "A primary side controller for inductive power transfer systems," *Industrial Technology(ICIT), 2010 IEEE International Conference on*, pp. 661-666, Mar. 2010.
- [5] <http://www.wirelesspowerconsortium.com/>
- [6] Joo-Hee Yu, Choon-Sam Kim, Won-Ki Sung, "An Efficiency Improvement of Secondary-Side Rectifier for Minimizing 2nd Coil-Making in Contact-less Power Supply, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 3, pp. 1302-1307, Mar. 2011.
- [7] Eun-soo Kim, Hwan-Kook Song, Joo-Hum Kim, Hyun-Kwan Lee, Yoon-ho Kim, "Efficiency characteristics of a half-bridge series resonant converter for the contactless power supply," *APEC 2008, 32nd Annual IEEE*, pp. 1555-1561, May 2008.
- [8] Myung-Hyo Ryu, Hon-nyoung Cha, Yong-Hwan Park, Ju-Won Baek, "Analysis of the contactless power transfer system using modeling and analysis of the contactless transformer," *Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005 32nd Annual Conference of IEEE*, pp. 6-10, Nov. 2005.
- [9] Kang-Hwan Jin, Ji-Min Kim, Soo-Hong Kim, Yoon-Ho Kim, Eun-Su Kim, "Contactless System using \square type core and Series-Parallel Resonant Converter," *Power Electronics Annual Conference*, pp. 169-171, Jul, 2007.



김유석(金柳石)

1986년 12월 29일생. 2012년 강원대 제어계측공학과 졸업. 2012년~현재 동 대학원 제어계측공학과 석사과정.



유주희(柳周熙)

1984년 1월 19일생. 2009년 강원대 공대 제어계측공학과 졸업. 2011년 동 산업과학 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2012년~현재 한국전기연구원 기업지원연구원.



김춘삼(金春杉)

1960년 11월 12일생. 1984년 동아대 전기공학과 졸업. 1988년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년~현재 강원대 제어계측공학과 교수.



성원기(成源基)

1956년 2월 9일생. 1980년 중앙대 전자공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1986년~현재 강원대 전자정보통신공학부 교수.