

Pickup의 자세에 둔감한 무선전력전송 시스템

Wireless Power Transfer System Insensitive to Pickup's Posture

이 동 수* · 임 동 남* · 전 성 줍†

(Dong-Su Lee · Dong-Nam Lim · Seong-Jeub Jeon)

Abstract - Recently, wireless power transfer (WPT) system is widely studied. WPT system is very attractive because it removes power cables from home appliances, office equipment and battery chargers for electric vehicle. However, pickup's posture affects the performance greatly. In this paper a new pickup system whose output voltage is less sensitive to its posture is proposed. The proposed pickup system is composed of three coils perpendicular to each other. A prototype is constructed and tested, and its usefulness is verified.

Key Words : WPT, Wireless power transfer, Resonance, Induction, Inductive power transfer

1. 서 론

오래 전부터 사용자의 안전을 위해 비접촉식 충전기가 많이 연구 되었다 [1]-[4]. 최근 들어서는 이격 거리가 많이 늘어났고 비접촉식을 포함하여 무선전력전송이라는 이름으로 활발히 도입되고 있다. 이는 전기기기의 편리성과 안전성을 높여주기 때문이다. 무선전력전송 시스템은 급전 측에서 집전 측으로 직접 전선을 연결하지 않아도 되는 장점으로 인해 가전 기기, 사무용 기기나 전기 자동차 등에 적용하려는 많은 노력이 있다[5]-[17]. 이격 거리는 사용 주파수를 높여서 해결을 하고 있으며 이격 거리가 클 때 발생하는 자기 인덕턴스는 크고 상호 인덕턴스가 적은 문제는 공진을 도입하여 해결하고 있다. 그러나 집전 측 기기의 자세가 집전 성능에 크게 영향을 미치는 문제점을 안고 있다[9]-[11]. 이런 문제점은 다수의 코일을 두어 해결할 수 있다 [11]-[13]. [11]에서는 1차에 직교하는 3개의 코일에 다른 주파수의 교류를 가하고 2차에는 동일한 평면에 3개의 코일을 두는 방법이 제안되었고, [12]에서는 1차에는 하나의 코일만 두고 2차에는 직교하는 세 개의 코일을 두고 각 코일에는 별도의 정류장치를 두어 정류한 후 직렬 또는 병렬로 연결하였다. [13]에서는 1차에도 직교하는 3개의 코일을 두고 2차에서도 직교하는 3개의 코일을 두는 방법이 제안되었다. 코일의 형상과 구동하는 방식에 따라 구현의 난이도와 활용 분야가 달라진다. [11]에 제안한 방식은 평면 형태의 장치에 적합하고 [12]에 제안한 방식은 수중에서 유행하는 장치나 진단용 내시경 등에 적합하다. 본 논문에서는 [12]에서 제안한 방식을 수중에서 유행하는 장치나 진단용 내시경 등에

응용할 목적으로 성능을 분석하고 시제품을 제작하여 자세에 영향을 크게 받지 않는다는 제안의 타당함을 보였다.

2. 본 론

2.1 유도성 무선 전력 전송과 단일 코일 쌍의 문제점

무선 전력 전송 시스템은 코일의 개수와 관계없이 일종의 변압기로 해석할 수 있다[14]. 단지 일반적인 변압기와는 달리 1차와 2차가 분리되어 있고 움직일 수 있다는 점이 다르다. 1차와 2차가 분리되어 있으므로 여자 인덕턴스는 매우 작고 누설 인덕턴스는 매우 크다 이런 경우는 이상적인 변압기에 기초한 변압기 모델보다는 상호결합을 하고 있는 인덕터로 표현하는 모델이 다루기가 쉽다. 그림 1은 2개의 코일을 갖는 무선전력 전송 시스템의 인덕터 모델에서의 표현이다. 정현파 동작을 가정하여 페이저로 표현하면 이 모델에서 시스템은 다음의 (1)과 (2) 식으로 표현된다. L_1 , L_2 는 각각 1차와 2차의 자기 인덕턴스, M 은 상호 인덕턴스로 자기 인덕턴스는 전류의 흐름을 억제하기 때문에 전력 전송에 방해되는 항이다. 이 항은 정현파 동작을 가정하면 커패시터로 상쇄시킬 수 있다. 그러면 1차와 2차 각각에 공진회로가 형성이 된다. 보상 후에는 그림 2와 같은 등가모델로 설명된다. 이 모델에서 상호 인덕턴스가 에너지를 전달하는데 기여하는데 상호 인덕턴스는 pickup (2차 코일)의 놓인 위치나 자세 (또는 방향)에 따라 크게 변한다.

$$\mathbf{V}_1 = \frac{1}{j\omega C_{r1}} \mathbf{I}_1 + j\omega L_1 \mathbf{I}_1 + r_1 \mathbf{I}_1 + j\omega M \mathbf{I}_2 \quad (1)$$

$$\mathbf{V}_2 = j\omega M \mathbf{I}_1 + r_2 \mathbf{I}_2 + j\omega L_2 \mathbf{I}_2 + \frac{1}{j\omega C_{r2}} \mathbf{I}_2 \quad (2)$$

만일 2차 코일이 그림 3(a)에서와 같이 x-y 평면에 놓여 있다면 코일을 지나는 자속 중 z-성분만 전압을 발생시키는데 기여하는데 그림 3(a)와 같이 정렬이 잘 되도록 되어 있

* Dept. of Electronic Engineering, Pukyong Nat'l Univ., Korea

† Corresponding Author : Dept. of Electronic Engineering, Pukyong Nat'l Univ., Korea

E-mail : jeub@pknu.ac.kr

Received : April 29, 2014; Accepted : June 24, 2014

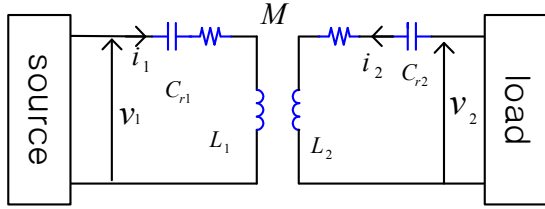


그림 1 무선전력전송 시스템
Fig. 1 Wireless power transfer system

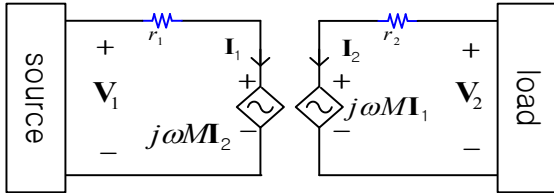


그림 2 보상후의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit after compensation

는 시스템에서는 비교적 좋은 특성을 유지할 수 있다. 그런데 그림 3(b)와 같이 비교적 먼 거리에 자유롭게 두도록 한 경우에는 자속이 pickup이 놓인 평면에 수평으로 지나갈 수도 있다. 이때에는 pickup에는 전혀 전압이 발생하지 아니하여 전력전송이 전혀 일어날 수 없다. 즉 자세에 따라 상호 인덕턴스가 영이 되어 그림 2의 2차 회로에 전압이 유가되지 않아 전력전송이 일어나지 않는다. 이러한 문제점은 비교적 먼 거리에 pickup이 위치해 있고 자유롭게 충전하고자 할 경우에 더욱 심각하게 나타내는데 그림 3(b)에 표시된 위치에서는 표시된 자세의 pickup에 기전력이 유가되지 않는다. 표시된 자세뿐만 아니라 그림에 표시된 선분을 축으로 회전시켜도 기전력은 유가되지 않는다. 이런 문제점은 다음 절에서 제안하는 집전 방식으로 해결할 수 있다.

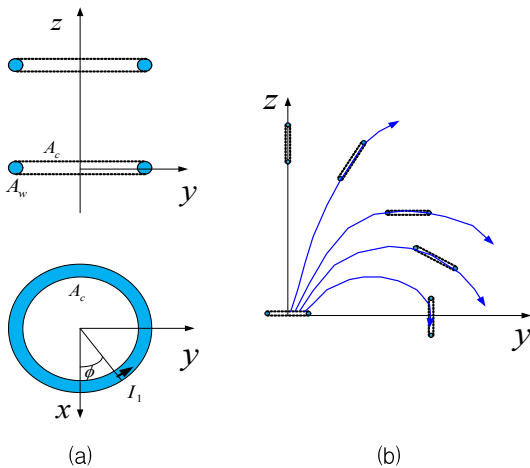


그림 3 공간 중에 놓인 코일과 자속
Fig. 3 Coil pair and magnetic flux

2.2 제안한 pickup 및 집전 시스템

집전 시스템은 pickup과 정류부로 구성되는데 2.1에서 기술한 기존 pickup의 문제점을 해결하기 위하여 다음 4(a)와

같이 pickup을 세 개의 코일로 구성하여 구의 표면에 서로 직교하도록 배치하였다. 각 코일은 x-y, y-z, z-x 평면에 놓이게 하였는데 그림 4(a)에는 1/4씩만 보이도록 그렸다. 자속의 방향이 어떠하든지 세 코일과 동시에 자속이 평행이 될 수 없으므로 세 코일 중 하나 이상에 유기기전력이 발생된다. 각 코일에 유기된 전압은 그림 4(b)와 같이 구성된 정류부에서 정류하여 직류로 변환하였다. 권선을 직렬 접속하여 기전력을 더한 후 정류하지 아니하고 각 코일의 출력을 정류한 후 직렬로 접속하는 것이 도움이 된다. 예를 들어 $\phi = 0, \theta = -45^\circ$ 일 때에는 그림 4(a)의 화살표 방향의 기전력이 합성되도록 직렬접속하면 합성 기전력은 영이 되어 코일이 하나만 있을 때와 똑 같은 문제를 갖게 되어 다수의 코일을 두는 의미가 없다. 그래서 반드시 정류 후 합성하여야 한다. 정류부는 그림 4(c)와 같이 pickup의 각 부에 배전압 정류 회로를 구성한 후 직렬 접속하여 부하에 공급할 수도 있고 그림 4(d)와 같이 병렬로 접속하여 공급할 수 있다. 배전압 정류회로에서는 충전 전류가 하나의 다이오드만을 통하게 되므로 부하의 전류가 크지 않을 때 효과적인 정류방법으로 볼 수 있다. pickup의 공진 커패시터는 그림 4(b)의 직류전압을 분담하는 두 개의 커패시터가 담당할 수도 있고 C_{r2x} 와 같이 별도로 pickup 권선에 직렬로 설치할 수도 있다. 정류 후의 직류에 나타나는 리플을 줄이기 위해서는 큰 정전용량의 커패시터가 필요한데 그런 경우에는 별도의 공진 커패시터를 두는 것이 유리하다. 그림 2(b)에서 v_x 의 x는 코일 a, b, c를 대표한 것이다. v_x 는 그림 1의 v_2 에 해당한다.

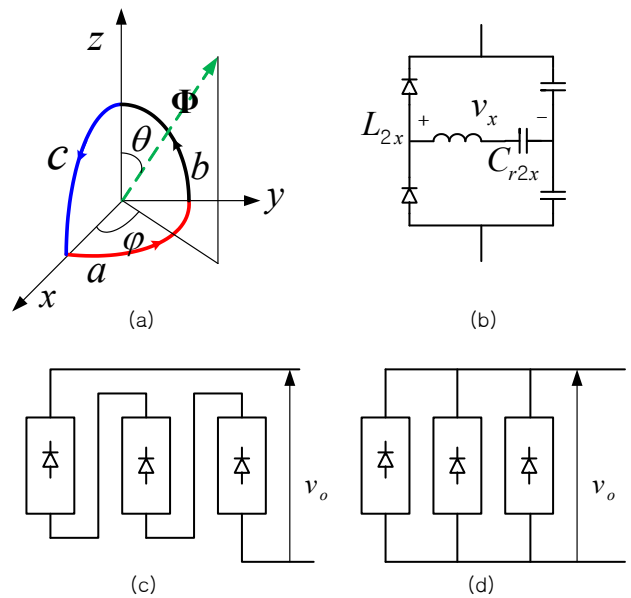


그림 4 제안한 집전 시스템: (a) pick-up의 구성도, (b) 단위 정류기, (c) 직렬 접속된 정류부, (d) 병렬 접속된 정류부

Fig. 4 Proposed pickup system: (a) construction of pickup, (b) unit rectifier, (c) Sereis-connected rectifiers, (d) parallel connected rectifiers

2.3 제안한 pickup의 전압 특성

식 (1), (2)를 확장하여 제안한 1차에 하나의 코일, 2차에 직교하는 세 개의 코일이 있는 시스템에 적용하면

$$\mathbf{V}_1 = \frac{1}{j\omega C_{r1}} \mathbf{I}_1 + j\omega L_1 \mathbf{I}_1 + j\omega M_{1a} \mathbf{I}_a + j\omega M_{1b} \mathbf{I}_b + j\omega M_{1c} \mathbf{I}_c \quad (3)$$

$$\mathbf{V}_a = j\omega M_{1a} \mathbf{I}_1 + j\omega L_{2a} \mathbf{I}_a + \frac{1}{j\omega C_{ra}} \mathbf{I}_a \quad (4)$$

$$\mathbf{V}_b = j\omega M_{1b} \mathbf{I}_1 + j\omega L_{2b} \mathbf{I}_b + \frac{1}{j\omega C_{rb}} \mathbf{I}_b \quad (5)$$

$$\mathbf{V}_c = j\omega M_{1c} \mathbf{I}_1 + j\omega L_{2c} \mathbf{I}_c + \frac{1}{j\omega C_{rc}} \mathbf{I}_c \quad (6)$$

논의를 간결하게 하기 위하여 권선의 저항 성분은 무시하였다. M_{1a} , M_{1b} , M_{1c} 는 1차 코일과 2차 코일 a, b, c와의 상호 인덕턴스로 pickup의 위치와 자세에 따라 변한다. 2차 코일 a, b, c는 서로 직교하여 서로 간에 상호인덕턴스가 영이다.

1차와 2차의 a, b, c 세 코일은 자성재료를 사용하지 않는다면 각각의 자기 인덕턴스는 독립적이므로 4 코일은 독립적으로 보상하여 자기 인덕턴스를 상쇄시킨다. 즉, 다음과 같이 공진을 맞춘다.

$$\omega L_1 = \frac{1}{\omega C_{r1}} \quad (7)$$

$$\omega L_{2a} = \frac{1}{\omega C_{r2a}} \quad (8)$$

$$\omega L_{2b} = \frac{1}{\omega C_{r2b}} \quad (9)$$

$$\omega L_{2c} = \frac{1}{\omega C_{r2c}} \quad (10)$$

이렇게 보상하면 식 (3)~(6)은 다음과 같이 된다.

$$\mathbf{V}_1 = j\omega M_{1a} \mathbf{I}_a + j\omega M_{1b} \mathbf{I}_b + j\omega M_{1c} \mathbf{I}_c \quad (11)$$

$$\mathbf{V}_a = j\omega M_{1a} \mathbf{I}_1 \quad (12)$$

$$\mathbf{V}_b = j\omega M_{1b} \mathbf{I}_1 \quad (13)$$

$$\mathbf{V}_c = j\omega M_{1c} \mathbf{I}_1 \quad (14)$$

정류 회로를 직렬로 접속하면 2차의 세 권선에 흐르는 전류는 동일하다. 이들을 \mathbf{I}_2 라고 하면 2차에서 소모하는 전력 P_2 는

$$P_2 = (|\mathbf{V}_a| + |\mathbf{V}_b| + |\mathbf{V}_c|) |\mathbf{I}_2| \quad (15)$$

그리고

$$P_1 = |\mathbf{V}_1| |\mathbf{I}_1| = P_2 \quad (16)$$

1차에 유입되는 전력은 pickup의 자세와는 무관하다. 제한한 시스템에서 얻어지는 유기전력의 자세에 따른 특성을 파악하기 위하여 pickup를 그림 4와 같이 세 개의 평면에 한

부분씩 일치하도록 두고 자속의 방향을 변화시켜 보았다. 자속은 그림 4에서와 같이 두고 z-축과 이루는 각은 θ , x-y 평면에 투사된 성분이 x-축과 이루는 각은 ϕ 로 두었다. 그림 5(a)~(d)는 각기 ϕ 를 0° , 25° , 50° , 75° 로 두고 θ 를 0° 에서 90° 까지 변화시켰을 경우이고 v_a , v_b , v_c 는 각기 a, b, c 코일의 유기 전압이다. 최종 출력(v_o)은 각 코일의 전압의 절대치를 더한 것이다. 그림 5에는 1 팔분체(octant) 분만 나타내었다. 다른 팔분체에서는 이것과 대칭으로 나타난다.

최종 출력(v_o)은 자속이 어느 한 코일에 수직일 때 가장 작게 나타났고 모든 코일에 동일한 각을 이룰 때 가장 크게 나타났다. 자세에 따라 1.7배의 차이를 나타내는데 이는 매우 만족할 만한 수치로 정류된 직류가 얻어진 출력단에 스위칭 전원 장치를 두면 자세에 무관한 직류 전원을 만들어 낼 수 있다.

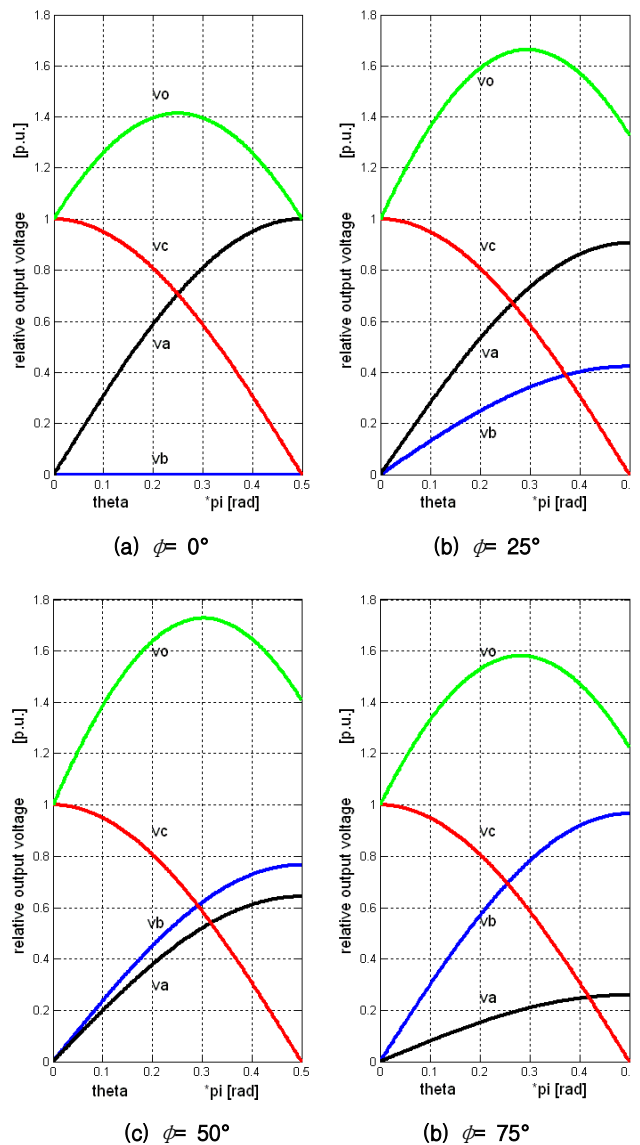


그림 5 상대적 출력 전압: v_a (black), v_b (blue), v_c (red) and v_o (green)

Fig. 5 normalized output: v_a (black), v_b (blue), v_c (red) and v_o (green)

2.4 결합계수와 선택도에 관한 고찰

식 (1), (2)로 표현된 2-코일 시스템에서 선택도(또는 양호도, Quality factor)를 상호 인덕턴스를 통해 유기된 전압에 대한 자기인덕턴스에서의 전압 강하로 정의하고 1차의 선택도와 2차의 선택도를 각기 q_1, q_2 라 하면

$$q_1 = \frac{\omega L_1 I_1}{\omega M I_2} = \frac{L_1 I_1}{M I_2} \quad (17)$$

$$q_2 = \frac{\omega L_2 I_2}{\omega M I_1} = \frac{L_2 I_2}{M I_1} \quad (18)$$

1차와 2차의 결합계수는

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (19)$$

식 (17)~(19)로부터 결합계수와 선택도의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$k^2 = \frac{1}{q_1 q_2} \quad (20)$$

즉, 식 (20)으로부터 1차와 2차의 결합 정도가 나쁠수록 큰 선택도를 갖게 되는 것을 알 수 있다.

2.5 출력과 공진의 유지

인덕턴스의 보상이 완전하게 이루어지면 시스템은 식 (11)~(14)로 표현되어 전력전달이 자유롭게 되는 것처럼 보이나 이 식들은 코일의 저항을 무시한 것으로 출력은 저항에서의 손실에 따른 온도상승에 의해 제한된다. 이는 일반적인 전기기기에서와 같다.

무선전력전송 기기는 기기의 온도 상승 이외에 출력이 제한되는 다른 요소를 하나 더 가지고 있다. 무선전력전송 기기가 코일의 크기에 비해 이격 거리가 크면 자기인덕턴스가 상호인덕턴스에 비해 매우 커져 공진점이 약간만 벗어나도 출력이 크게 감소한다. 식 (2)에서 상호인덕턴스를 통해 발생된 기전력을 입력으로 두고 V_2 를 $R_L I_2$ 로 두고 전달함수를 구하면 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{V_2}{j\omega M I_1} = \frac{R_L}{R_L + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_{r2}}} = \frac{1}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega} \right)} \quad (21)$$

여기서,

$$Q = \frac{\omega_r L_2}{R_L} = \frac{1}{R_L \omega_r C_{r2}} \quad (22a)$$

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{L_2 C_{r2}}} \quad (22b)$$

여기서 정의한 선택도 Q 는 (17), (18)의 것과 동일하다. 전압 이득이 $1/\sqrt{2}$ 이 되는 반전력 (half power) 대역폭(BW)은 다음과 주어진다.

$$BW = \frac{\omega_r}{Q} \quad (23)$$

즉, 동작주파수가 공진점에서 $1/(2Q)$ 만큼 변하면 출력 전압이 $1/\sqrt{2}$ 로 감소한다. 따라서 무선전력전송 시스템에서는 공진의 유지가 매우 중요하며 공진을 유지할 수 있는 정도에 따라 출력 전압이 감소하는 것을 고려하여 시스템을 설계하여야 한다. 공진 주파수에 영향을 주는 인자로는 공진에 사용된 커패시터의 온도특성이 있다. 따라서 공진용 커패시터의 선정에 신중을 기하여야 한다.

3. 실험 및 고찰

제한한 집전시스템의 프로토타입을 설계하고 제작하였다. 그림 6은 제작한 프로토타입 pickup으로 지름이 4.3 [cm]인 구 표면에 권선을 감아 만들었다. a, b, c 코일은 자기 인덕턴스가 각기 33.1, 33.3, 32.8[μH]로 측정되었다. 세 개의 코일은 서로 직교하므로 서로 간의 상호 인덕턴스는 무시할 수 있어 공진회로는 독립적으로 구성하였다. 급전 시스템은 반브릿지 회로를 중심으로 설계하여 제작하였고, 집전 측의 정류회로는 그림 4(b)와 같이 배전압 회로를 사용하였으며 다이오드에는 schottky 다이오드를 사용하였다. 180 [kHz] 교번 자속을 발생시키고 제작한 pickup과의 상대적 자세를 그림 5에서와 같이 바꾸어 가며 그 출력을 측정하였다. 그림 7은 $\phi=0^\circ, \theta=0^\circ$ 일 때와 $\phi=30^\circ, \theta=30^\circ$ 일 때에 정류부 전단에서 측정한 전압으로 부하전류가 흐르지 않은 상태로 측정하였으므로 각 코일에 유기된 전압이다. 정류 후의 전압이 제한한 바와 같이 얻어지는 지를 확인하기 위하여 그림 5(b)와 같이 $\phi=25^\circ$ 로 고정하고 θ 를 바꾸어가며 측정할 결과가 그림 8과 같다. 여기서 전압은 정류회로를 직렬로 접속하여 얻은 직류전압이고 부하저항은 100 [Ω]이다. 그림 7과 8로부터 출력 특성이 이론적인 것과 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

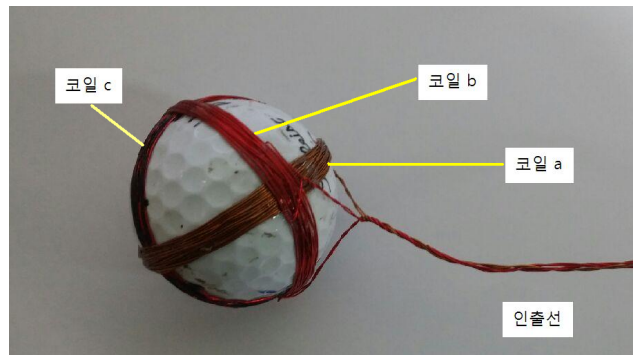
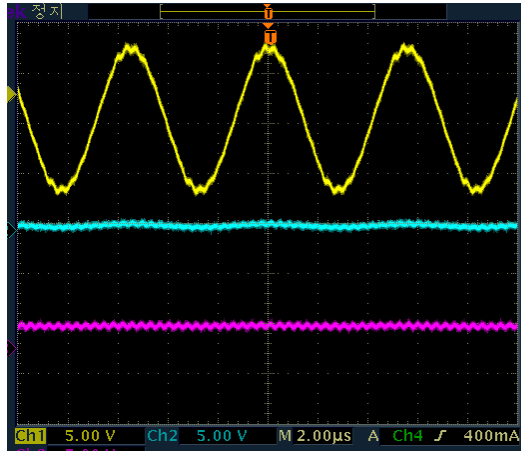
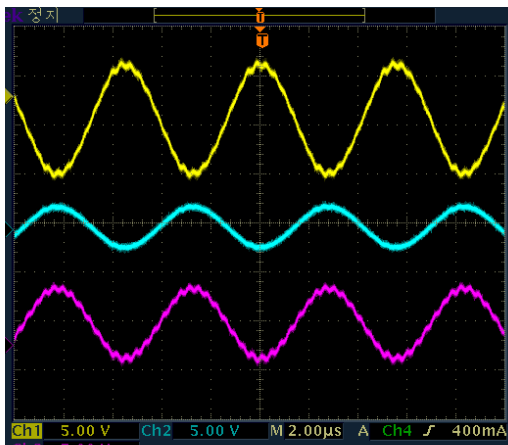


그림 6 프로토타입 pickup
Fig. 6 Prototype pickup



(a)



(b)

그림 7 코일의 유기 전압(5 [V/div]): (a) $\phi=0^\circ, \theta=0^\circ$, (b) $\phi=30^\circ, \theta=30^\circ$, 상: va(black), 중: vb(blue), 하: vc

Fig. 7 Induced voltages(5 [V/div]): (a) $\phi=0^\circ, \theta=0^\circ$, (b) $\phi=30^\circ, \theta=30^\circ$, upper: va(black), middle: vb(blue), bottom: vc, time base: 2 [μ s/div]

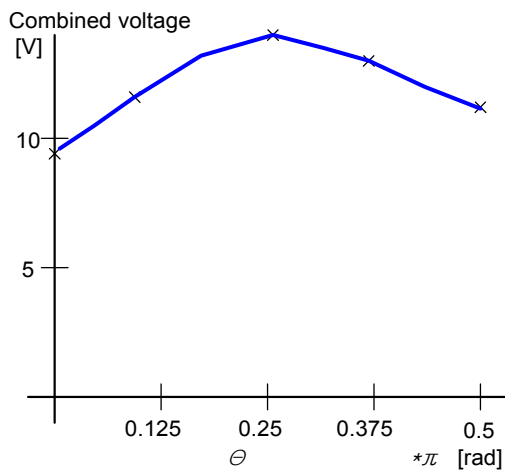


그림 8 자세에 따른 pickup의 출력 특성

Fig. 8 Output characteristics of pickup according to its posture

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 pickup이 자세에 따라 그 출력이 영이 되기도 하는 단점을 제거하여 pickup의 자세에 따라 출력이 크게 변하지 않는 집진 시스템을 제안하였고 그 타당성을 이론적으로, 실험적으로 확인하였다. 제안한 pickup은 그 자세에 따른 출력전압의 최대치와 최소치의 비가 1.7로 매우 유용한 결과가 얻어졌다. 이 연구 결과가 최근 들어 여러 분야로 확산되어 응용되고 있는 무선전력전송시스템의 기술적 학문적 발전에 크게 기여하기를 기대한다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음

References

- [1] H. Sakamoto and K. Harada, "A novel circuit for non-contact charging through electromagnetic coupling", IEEE PESC '92 record, pp. 168-174, 1992.
- [2] A. Esser, "Contactless charging communication for electric vehicle", IEEE Industry Application Society Annual Meeting, pp. 1024-1028, 1993.
- [3] K. Hatanaka, F. Sato, H. Hatsuki, S. Kikuchi, J. Murakami, M. Kawase and T. Satoh, "Power transmission of a desk with a cord-free power supply", IEEE trans. Magnetics, vol. 38, no. 5, pp. 3329-3331, 2002.
- [4] S.-J. Jeon, J. Heo, K.W. Lee, G.H. Cho, "Characteristics of the π type core for contactless battery charger", KIPE Trans. vol. 8, no. 5, pp. 407-417, 2003
- [5] J. Boys, "Inductive power transfer across an extended gap", WO 98/50993, 1998.
- [6] C.-S. Wang, O. H. Stielau and G. A. Covic, "Design considerations for a contactless electric vehicle battery charger", IEEE trans. Ind. Elec. vol. 52, no. 5, pp. 1308-1314, 2005.
- [7] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P. Fisher and M. Soljagic, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances", Science, vol. 317, no. 83, pp. 83-86, 2007.
- [8] A. Karalis, A.B. Kurs, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P.H. Fisher and M. Soljagic, "Wireless energy transfer", US 7825543 B2, 2010.
- [9] J. Wang, S. L. Ho W.N. Fu and M. Sun, "Analytical design study a novel Witricity charger with lateral and angular misalignments for efficient wireless energy transmission", IEEE Trans. Magnetics. vol. 47, no. 10, pp. 2616-2619, 2011.
- [10] S.G. Lee, H. Haong, Y.H. Choi and F. Bien, "Efficiency improvement for magnetic resonance

based wireless power transfer with axial-misalignment”, Electronics Letters, vol. 48, no. 6, pp. 339-340, 2012.

- [11] D.-N. Lim, D.-S. Lee and S.-J. Jeon, “Output characteristics of pickup according to pickup’s posture”, Proc. of 8th Conference on National Defence Technology, pp. 824-828, 2012.
- [12] D.-N. Lim, D.-S. Lee and S.-J. Jeon, “Wireless power transfer system insensitive to pickup’s posture”, Proc. of 43th KIEE Summer Conference, pp. 1171-1172, 2012.
- [13] O. Jonah, S.V. Georgakopoulos and M.M. Tentzeris, “Orientation insensitive power transfer by magnetic resonance for mobile device”, 2013 IEEE Wireless Power Transfer Conference, pp. 5-8, 2013.
- [14] D.-N. Lim, D.-S. Lee and S.-J. Jeon, “Technological and theoretical relationship between wireless power transfer technologies”, KIEE Trans. vol. 63, no. 2, pp. 245-249, 2014.
- [15] S. Dieckerhoff, M.J. Ryan and W. DeDoncker, “Design of an IGBT-based LCL-Resonant inverter for high-frequency induction heating”, Proc. IEEE Industry Applications Conference, vol. 3, pp. 2039-2045, 1999.
- [16] J.-E. Yeon, K.-M. Cho, W.-S. Oh and H.-J. Kim, “A dimmable high frequency resonant inverter for electrodeless lamps”, Proc. of KIEE CICS’04, pp. 487-489, 2004.
- [17] S.-J. Jeon B.Y. Song, J.G. Shin, D.-W. Seo, S.J. Son, and D.-H. Cho, “Pickup with compensating winding for KAIST OLEV”, Proc. of 42th KIEE Summer Conference, pp. 3-4, 2011.

저 자 소 개



이 동 수 (李東壽)

1979년 생. 2004년 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 전자정보통신공학전공 졸업. 2006년 부경대학교 전자공학과 공학석사. 2007년 3월 ~ 현재 부경대학교 전자공학과 박사과정.

E-mail : lds7933@naver.com



임 동 남 (林東男)

1987년 생. 2012년 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 전자정보통신공학전공 졸업. 2012년 3월 ~ 현재 부경대학교 전자공학과 석사과정.

E-mail : ldn8707@naver.com



전 성 줌 (田成緝)

1957년 생. 1980년 숭전대학교 전기공학과 졸업. 1982년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사. 2001년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사. 1982년 3월~1985년 2월 한국과학기술원 연구원. 1985년 3월~1986년 8월 한국전기연구소 연구원. 1986년 9월 ~ 현재 부경대학교 교수.

Tel : 051-629-6216

E-mail : jeub@pknu.ac.kr