

## 자기 공진 기반의 무선전력전송 시스템에서 송수신 공진기의 구조 차이에 따른 달성 가능한 효율 비교

이기송 · 양해권 · 나인호\*

### Comparison of Achievable Efficiency for Different Resonator Structures in a Magnetic Resonance-based Wireless Power Transfer System

Kisong Lee · Haekwon Yang · In-Ho Ra\*

School of Computer, Information and Communication Engineering, Kunsan National University, Gunsan,  
54150, Korea

#### 요 약

자기 공진 기반의 무선전력전송 시스템에서, 송수신 공진기가 가까워짐에 따라 전력비 효율이 급격히 감소하는 주파수 스플리팅 현상은 근거리에서 안정적인 전력 전송을 위하여 반드시 해결해야 하는 문제이다. 본 논문에서는 등가회로 모델을 이용하여 무선전력전송 시스템을 모델링하고, 전력비 효율 및 주파수 스플리팅이 발생하는 한계 커플링 계수( $k_{split}$ )를 도출하였다. 또한, Advanced Design System을 이용하여 회로 수준의 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 통해  $k > k_{split}$ 의 환경에서 송수신 공진기의 구조에 따라 달성 가능한 전력비 효율이 다를 것을 보였다. 동일한 구조의 공진기의 경우  $k$ 가 커지더라도 높은 수준의 전력비 효율을 유지하는 반면, 상이한 구조의 공진기의 경우  $k$ 가 커짐에 따라 전력비 효율도 감소함을 확인했다. 그러므로  $k > k_{split}$ 를 만족하는 근거리 환경에서 안정적인 전력비 효율을 달성하기 위해서는 상이한 구조의 공진기보다는 동일한 구조의 공진기를 사용하는 것이 더 효율적이다.

#### ABSTRACT

In magnetic resonance-based wireless power transfer (WPT) systems, frequency splitting phenomenon, in which power transfer efficiency (PTE) decreases seriously as resonators are close to each other, is the problem that we should address for reliable power transfer in short distance. In this paper, we present WPT systems using an equivalent circuit model and analyze PTE and marginal coupling coefficient ( $k_{split}$ ) where the frequency splitting occurs. In addition, we perform circuit-level simulations using Advanced Design System, and show that the achievable PTE is different for the structures of resonators when  $k > k_{split}$ . We confirm that higher PTE can be ensured as  $k$  increases in the case of identical resonators, while PTE is degraded as  $k$  increases in the case of non-identical resonators. Therefore, in short distance, in which  $k > k_{split}$ , it is more efficient for achieving reliable PTE to use identical resonators rather than non-identical resonators.

**키워드** : 무선 전력 전송, 자기 공진, 전력 전송 효율, 주파수 스플리팅

**Key word** : Wireless Power Transfer, Magnetic Resonance, Power Transfer Efficiency, Frequency Splitting

Received 27 March 2017, Revised 29 March 2017, Accepted 07 April 2017

\* Corresponding Author In-Ho Ra(E-mail: ihra@kunsan.ac.kr, Tel:+82-63-469-4697)

School of Computer, Information and Communication Engineering, Kunsan National University, Gunsan, 54150, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.5.1035>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

최근 휴대용 전자기기의 수요가 늘어남에 따라, 전자기기의 배터리 충전의 번거로움을 해소하는 고객도 늘어나고 있다. 이러한 흐름에 발맞추어 무선전력전송(Wireless Power Transfer, WPT) 기술은 기존의 유선의 충전 방식을 벗어나, 사용자의 충전 편의성을 증진시킬 수 있는 기술로 각광받고 있다. 자기 공진을 이용한 근거리 무선 충전 기술은 MIT에서 쌍모드이론(Coupled Mode Theory, CMT)를 이용하여 이론적으로 분석하고, 그 구현 가능성을 실험적으로 검증하였다[1]. 뿐만 아니라, 등가회로 모델을 이용하여 WPT 시스템을 분석하고, 최적의 효율을 달성하기 위한 design 방안 역시 제안되었다[2,3].

두 공진기의 거리가 가까워짐에 따라 공진 주파수에서의 효율이 감소하고, 오히려 공진 주파수의 양쪽으로 스플릿 된 주파수에서 효율이 증가하는 주파수 스플리팅(Frequency splitting)에 대한 연구도 활발히 진행되었다[4-6]. 또한, 주파수 스플리팅이 발생한 경우 최적의 주파수를 추적하여, 안정적인 전력 전송 효율을 달성하고자 하는 연구도 존재 한다[7,8]. 하지만 기존에는 주파수 스플리팅이 발생한 경우 송수신 공진기의 구조에 따른 전력 전송 효율의 영향을 분석한 연구는 없었다.

본 논문에서는, 한 쌍의 공진기(Resonator)가 존재하는 WPT 시스템에서 공진기 구조 차이에 따른 달성 가능한 전력비 효율(Power Transfer Efficiency, PTE)을 분석하고자 한다. 등가회로 모델을 이용하여 송수신 공진기를 회로적으로 모델링 한 후, 주파수 스플리팅이 발생하는 한계 커플링 계수를 도출하고 그 정성적 의미를 해석하였다. Advanced Design System (ADS) 시뮬레이션을 통해 공진기 구조에 따라 주파수 스플리팅이 발생하는 환경에서 달성 가능한 PTE가 다름을 밝혀냈다. 동일한 구조의 공진기의 경우 커플링 계수가 커지더라도 달성 가능한 PTE가 높은 값으로 유지되는 반면, 상이한 구조의 공진기의 경우 커플링 계수가 커짐에 따라 달성 가능한 PTE가 감소함을 보였다. 이를 통해 안정적인 WPT 시스템 구현을 위한 공진기 설계의 방향성을 제안하였다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 1개의 송신기(Transmitter, Tx)와 1개의 수신기(Receiver, Rx)가 쌍으로 존재하는 자기공진(Magnetic resonance) 기반의 WPT 시스템을 고려한다.

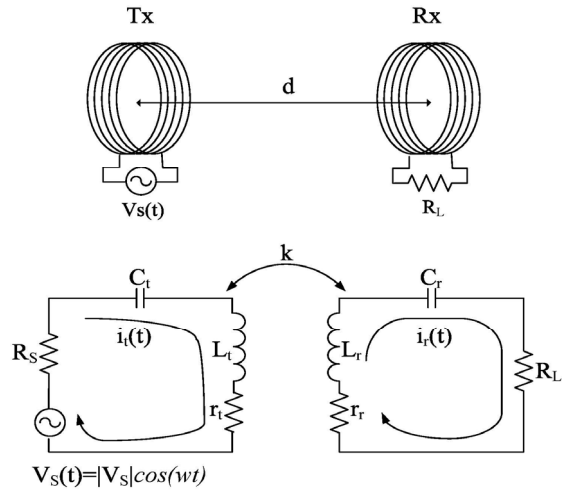


Fig. 1 Magnetic resonance based WPT systems

그림 1은 본 논문에서 고려하고 있는 WPT 시스템의 구조 및 등가회로 모델을 보여준다. Tx와 Rx는 같은 중심선 상에서 d만큼 거리가 떨어져 있다. Tx는 외부 전압  $V_s(t)$ 로부터 전원을 공급 받고 소스 저항  $R_s$ 가 연결되어 있으며, Rx에는 부하 저항  $R_L$ 이 연결되어 있다. Tx와 Rx는 각각  $L_t, L_r$ 의 인덕턴스 및  $r_t, r_r$ 의 내부 저항을 갖는다. 또한, 두 공진기는 같은 공진 주파수  $f_o$ 에서 공진할 수 있도록  $C_t$ 와  $C_r$ 의 커패시턴스가 각각 연결되어 있다. 이러한 경우 Tx와 Rx가 공진하는 주파수는 다음의 수식 (1)로 표현할 수 있다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_t C_t}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}}. \quad (1)$$

또한, Tx와 Rx의 등가 입력 임피던스는 아래의 수식처럼 표현 가능하다.

$$Z_t = R_s + r_t + j\omega L_t + \frac{1}{j\omega C_t}, \quad (2)$$

$$Z_r = R_L + r_r + j\omega L_r + \frac{1}{j\omega C_r}.$$

Tx에서 교류 전압  $V_S$ 는 교류 전류  $i_t$ 를 발생시키고, 이는 다시 자기장을 만든다.  $i_t$ 에 의해 발생한 자기장은 Rx로 전달되고, 이 자기장에 의해 교류 전류  $i_r$ 이 유도된다. 이 과정을 통해 Rx는 Tx로부터 무선으로 전력을 전송 받는다. Tx와 Rx 사이의 자기장 링크는 다음과 같은 커플링 계수(Coupling coefficient)  $k = \frac{M}{\sqrt{L_t C_t}}$ 로 표현할 수 있다. 여기서  $M$ 은 상호 인덕턴스(Mutual inductance)이다. 또한,  $k$ 는 Tx와 Rx 사이의 거리의 세제곱과 반비례하는 관계를 갖는다 [9]. 이를 이용하여, 키르히호프 전압 법칙(Kirchhoff's Voltage Law, KVL)에 의해 수식 (3)과 같은 관계식을 생성할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_S &= Z_t i_t + j\omega k \sqrt{L_t L_r} i_r, \\ 0 &= j\omega k \sqrt{L_t L_r} i_t + Z_r i_r. \end{aligned} \quad (3)$$

수식 (3)의 관계로부터 Tx와 Rx에서 발생하는 각각의 전류  $i_t$ 와  $i_r$ 은 아래와 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} i_t &= \frac{V_S}{Z_t + \frac{\omega^2 k^2 L_t L_r}{Z_r}}, \\ i_r &= \frac{j\omega k \sqrt{L_t L_r}}{Z_r} \cdot i_t. \end{aligned} \quad (4)$$

### III. 주파수 스플리팅 발생 조건

3장에서는 2장에서 도출한 기본적인 수식 및 등가 회로 모델을 이용하여 주파수 스플리팅이 발생하는 조건을 찾는다. 먼저,  $S_{21}$  파라미터 정의[4]와 수식 (4)를 이용하여 다음의 관계를 이끌어 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{21} &= 2 \frac{V_L}{V_S} \sqrt{\frac{R_S}{R_L}} \\ &= 2 \frac{j\omega \sqrt{L_t L_r} \sqrt{R_S R_L} k}{Z_t Z_r + \omega^2 L_t L_r k^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

여기에서  $V_L = i_r(t) \cdot R_L$ 로서 Rx의 부하 저항에 인가되는 전압을 의미한다. 또한,  $S_{21}$  파라미터는 입력 전압 대비 출력 전압으로써, 순방향 전압 비를 나타낸다. 이를 이용하여, 입력 전력 대비 출력 전력인  $\eta_\omega$ 는 다음

수식 (6)과 같이 전압 비인  $S_{21}$  파라미터를 제공하여 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta_\omega &= |S_{21}|^2 \\ &= \frac{4\omega^2 L_t L_r R_S R_L k^2}{(Z_t Z_r + \omega^2 L_t L_r k^2)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

$\eta_\omega$ 는 주파수에 따른 전력비이며, Tx와 Rx가 같은 주파수에서 공진을 하는 경우 각각의 입력 임피던스에서 리액턴스 값이 0이 되어 다음 수식 (7)과 같이 간단히 변환될 수 있다.

$$\begin{aligned} \eta_{\omega_o} &= \frac{4\omega_o^2 L_t L_r R_S R_L k^2}{((R_S + r_t)(R_L + r_r) + \omega_o^2 L_t L_r k^2)^2} \\ &= \frac{4\zeta_t \zeta_r Q_t Q_r k^2}{(1 + Q_t Q_r k^2)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

수식 (7)에서  $\zeta_t = \frac{R_S}{R_S + r_t}$ ,  $\zeta_r = \frac{R_L}{R_L + r_r}$ 로서 Tx와 Rx 회로의 효율을 나타낸다. 또한,  $Q_t = \frac{\omega_o L_t}{R_S + r_t}$ ,  $Q_r = \frac{\omega_o L_r}{R_L + r_r}$ 는 품질계수(Quality factor)로서 공진 주파수에 얼마만큼 에너지가 집중되었는지를 나타내 준다. 즉, 품질계수가 클수록 공진주파수에 에너지가 집중이 되어 공진 주파수를 통하여 더 많은 에너지가 Rx로 전달된다. 수식 (7)에서 보듯이 공진 주파수에서의 전력비  $\eta_{\omega_o}$ 는  $\zeta$ 와  $Q$ 가 클수록 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면에  $\eta_{\omega_o}$ 는 커플링 계수  $k$ 에 대해서는 concave한 특성을 갖는다. 즉,  $k$ 가 특정 값까지 증가할수록  $\eta_{\omega_o}$ 도 이에 비례하여 값이 증가한다. 하지만,  $k$ 가 그 임계치보다 더 커지게 되면  $\eta_{\omega_o}$ 는 오히려 감소하게 된다.  $\eta_{\omega_o}$ 가 가장 큰 값을 갖는 최적의 한계 커플링 계수 값은 다음과 같이  $\eta_{\omega_o}$ 를  $k$ 에 대하여 미분함으로써 (i.e.  $\partial \eta_{\omega_o} / \partial k = 0$ ) 수식 (8)과 같이 찾을 수 있다.

$$\begin{aligned} k_{split} &= \sqrt{\frac{(R_S + r_t)(R_L + r_r)}{\omega_o^2 L_t L_r}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{Q_t Q_r}} \end{aligned} \quad (8)$$

Tx와 Rx의 거리가 가까워짐에 따라 전력비  $\eta_{\omega_0}$ 는 증가하다가  $k_{split}$ 을 넘어서는 아주 가까운 거리에 대해서는 오히려  $\eta_{\omega_0}$ 가 줄어들게 되는 현상을 주파수 스플리팅 이라 한다. 이와 같은 주파수 스플리팅 현상은 거리가 가까워짐에 따라 두 공진기의 정합이 틀어지게 되고, 이로 인해 Tx에서 Rx로 전달되는 전력보다 오히려 반사되는 전력이 더 많아져 발생하게 된다. 수식 (8)에서 Tx와 Rx의 품질계수가 클수록  $k_{split}$ 의 크기가 작아짐을 볼 수 있다. 이는 공진의 세기가 강해질수록 비교적 먼 거리에서부터 주파수 스플리팅 현상이 발생함을 의미한다. 주파수 스플리팅 현상이 발생하는 경우 최적의 주파수를 추적함으로써  $k > k_{split}$ 을 만족하는 근거리에서도 높은 효율을 달성할 수 있다 [4,7,8]. 하지만 WPT 시스템에서 송수신 공진기의 구조에 따라 달성 가능한 PTE가 달라짐을 다음 4장의 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 ADS를 이용하여, 10MHz에서 공진하는 Tx와 Rx 공진기를 구성한 후 회로 수준(Circuit-level)의 시뮬레이션을 수행하였다[1]. 그림 2는 ADS 시뮬레이션 환경을 보여준다. 공진기 구조에 따른 달성 가능한 PTE의 성능 차이를 보여주기 위해 공진기의 구조를 동일한(Identical) 경우와 상이한(Non-identical) 경우로 나누고 시뮬레이션을 수행하였다.

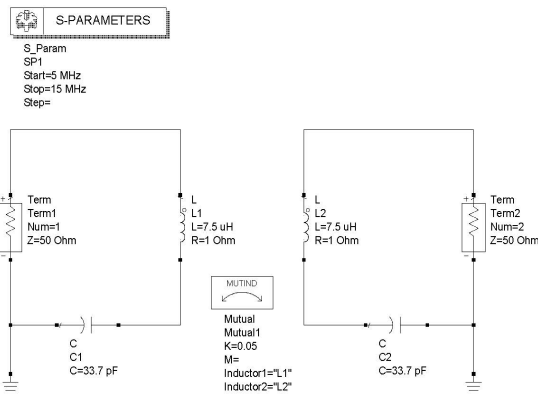


Fig. 2 ADS simulation environments

Table. 1 Parameters for ADS simulations

	Tx	Rx (Identical)	Rx (Non-Identical)
$L_t, L_r$	7.5 uH	7.5 uH	24.5 uH
$C_t, C_r$	33.7 pF	33.7 pF	10.3 pF
$R_s, R_L$	50 $\Omega$	50 $\Omega$	50 $\Omega$
$r_t, r_r$	1 $\Omega$	1 $\Omega$	5 $\Omega$
Q	471.2	471.2	307.9
$f_0$	10 MHz	10 MHz	10 MHz

동일한 구조의 공진기의 경우, Tx와 Rx는 각각 7.5uH의 인덕턴스, 33.7pF의 커패시턴스, 1옴의 내부 저항, 50옴의 소스 저항과 부하 저항이 연결되어 있으며, 이때의 품질계수는 471.2이다. 반면, 상이한 구조의 공진기의 경우 Rx는 Tx와는 다르게 24.5uH의 인덕턴스, 10.3pF의 커패시턴스, 5옴의 내부 저항, 50옴의 부하 저항이 연결되어 있으며, 이때의 품질계수는 307.9이다. 시뮬레이션을 위한 파라미터의 자세한 값은 표 1에 정리가 되어 있다.

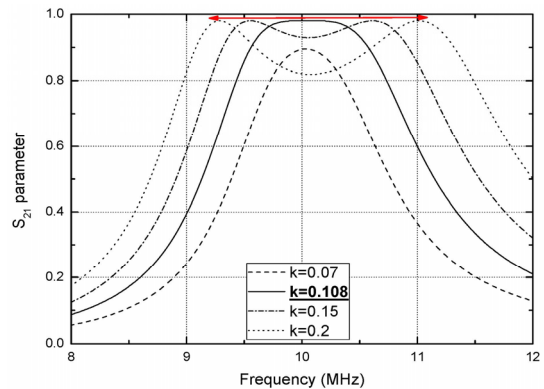


Fig. 3 S<sub>21</sub> parameter vs. frequency (Identical resonator)

그림 3은 동일한 공진기 구조에서 주파수에 따른 S<sub>21</sub> 파라미터의 값을 보여준다. 본 결과에서  $k_{split} = 0.108$ 이다.  $k < k_{split}$ 인 경우 공진 주파수 10MHz에서 가장 큰 값을 나타내며 k가 커질수록 S<sub>21</sub>의 값도 커짐을 알 수 있다. 반면  $k > k_{split}$ 인 경우 공진 주파수에서의 S<sub>21</sub> 값은 오히려 작아지며, 오히려 공진 주파수를 기준으로 양 쪽으로 스플릿 된 주파수에서 최대의 S<sub>21</sub> 값이 나타남을 볼 수 있다. k가 더 커질수록 주파수가 양쪽으로

스플릿 되는 정도가 커진다. 하지만 동일 공진기 구조의 경우 주파수 스플리팅이 일어나더라도 최대의  $S_{21}$  값을 보이는 주파수를 추적하면,  $k = k_{split}$ 에서의  $S_{21}$  값과 동일한 성능인 0.98의  $S_{21}$  값을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

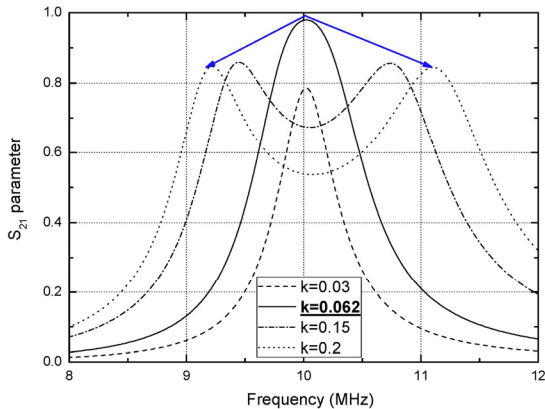


Fig. 4  $S_{21}$  parameter vs. frequency (Non-identical resonator)

그림 4는 상이한 공진기 구조에서 주파수에 따른  $S_{21}$  파라미터의 값을 보여준다. 본 결과에서  $k_{split} = 0.062$ 이다.  $k < k_{split}$ 인 경우는 동일한 공진기 구조의 결과와 비슷하다. 하지만  $k > k_{split}$ 인 경우 공진 주파수를 기준으로 주파수가 양 쪽으로 스플릿 되며, 최대의  $S_{21}$ 을 보이는 주파수에서의  $S_{21}$ 값은  $k = k_{split}$ 에서의  $S_{21}$  값보다 작다.

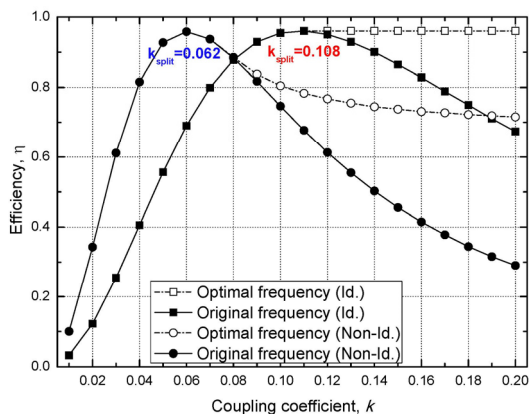


Fig. 5 Efficiency vs. coupling coefficient

즉, 상이한 공진기를 갖는 WPT 시스템에서는 주파수 스플리팅이 일어난 경우 최적의 주파수를 추적하더라도,  $k = k_{split}$ 에서와 동일한 성능인 0.98의  $S_{21}$ 을 얻을 수 없으며, 그 값은 0.83으로 감소함을 보여준다.

그림 5는 커플링 계수  $k$ 의 변화에 따른 전력비 효율  $\eta$ 의 값을 보여준다. 여기서 커플링 계수  $k$ 는 송수신 공진기 사이의 거리를 나타내는 파라미터이다.  $k < k_{split}$ 인 경우는 동일한 공진기 구조와 상이한 공진기 구조 모두  $k$ 가 커질수록  $\eta$ 가 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만  $k > k_{split}$ 인 경우 두 구조의 결과는 달라진다. 먼저, 주파수 스플리팅이 발생했을 때 원래의 공진 주파수를 사용하는 기존 방안의 경우  $k$ 가 커질수록  $\eta$ 의 값이 심각하게 떨어진다. 이때  $\eta$ 가 감소하는 정도는 동일한 공진기 구조의 경우 최대값의 70%, 상이한 공진기 구조의 경우 최대값의 30% 정도로 상이한 공진기 구조의 감소량이 더 크다. 반면, 주파수 스플리팅이 발생한 경우 최적의 주파수를 추적하는 방안의 경우 기존 방안에 비해 더 높은  $\eta$ 를 유지함을 볼 수 있다. 동일한 공진기 구조의 경우는  $k$ 가 증가하더라도 달성 가능한  $\eta$ 는  $k = k_{split}$ 에서의  $\eta$ 값과 동일하게 유지된다. 반면, 상이한 공진기 구조의 경우는  $k$ 가 증가함에 따라 달성 가능한  $\eta$ 가  $k = k_{split}$ 에서의  $\eta$ 값보다 약 40% 가까이 더 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 즉,  $k > k_{split}$ 인 근거리에서 안정적인 효율을 유지하기 위해서는 동일한 구조의 공진기를 사용하는 것이 효율적임을 알 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 주파수 스플리팅 현상이 일어난 경우 송수신 공진기 구조의 차이에 따른 달성 가능한 PTE를 비교하였다. 먼저, 등가회로 모델을 이용하여 시스템을 모델링하고 주파수 스플리팅이 발생하는 한계 커플링 계수( $k_{split}$ )를 찾았다. 또한, ADS 시뮬레이션을 통해  $k > k_{split}$ 인 상황에서 동일한 공진기 구조와 상이한 공진기 구조의 두 경우에서의 달성 가능한 PTE가 다름을 확인하였다. 동일한 공진기 구조의 경우  $k > k_{split}$ 인 상황에서도 달성 가능한 PTE가 0.98의 높은 값을 유지하는 반면, 상이한 공진기 구조의 경우  $k > k_{split}$ 인 상황에서  $k$ 가 증가함에 따라 달성 가능한 PTE가 40% 가까이

감소하는 것을 알 수 있었다. 즉, 근거리에서 안정적인 효율을 유지하기 위해서는 상이한 구조의 공진기보다는 동일한 구조의 공진기를 사용하는 것이 더 효율적임을 보였다.

### ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (2015R1C1A1A01051747) and (2016R1A2B4013 002).

### REFERENCES

[1] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," *Sci. Express*, vol. 317, no. 5834, pp. 83-86, July 2007.

[2] C.-J. Chen, T.-H. Chu, C.-L. Lin, and Z.-C. Jou, "A study of loosely coupled coils for wireless power transfer," *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 57, no. 7, pp. 536-540, July 2010.

[3] S. Cheon, Y. Kim, S. Kang, M. Lee, J. Lee, and T. Zyung, "Circuit model-based analysis of a wireless energy-transfer system via coupled magnetic resonances," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 7, pp. 2906-2914, July 2011.

[4] A. P. Sample, D. A. Meyer, and J. R. Smith, "Analysis, experimental results, and range adaptation of magnetically coupled resonators for wireless power transfer," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 2, pp. 544-554, Feb. 2011.

[5] W. Q. Niu, W. Gu, J. X. Chu, and A. D. Shen, "Coupled-mode analysis of frequency splitting phenomena in CPT systems," *Electron. Lett.*, vol. 48, no. 12, pp. 723-724, June 2012.

[6] Y. Zhang and Z. Zhao, "Frequency splitting analysis of two-coil resonant wireless power transfer," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 13, pp. 400-402, Feb. 2014.

[7] N. Y. Kim, K. Y. Kim, J. Choi, and C. W. Kim, "Adaptive frequency with power-level tracking system for efficient magnetic resonance wireless power transfer," *Electron. Lett.*, vol. 48, no. 8, pp. 452-454, Apr. 2012.

[8] H. Li, J. Li, K. Wang, W. Chen, and X. Yang, "A maximum efficiency point tracking control scheme for wireless power transfer systems using magnetic resonant coupling," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 7, pp. 3998-4008, July 2015.

[9] K. Lee and D.-H. Cho, "Diversity analysis of multiple transmitters in wireless power transfer system," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 49, no. 6, pp. 2946-2952, June 2013.



이기송(Kisong Lee)

2009년 KAIST 전기및전자공학과 석사  
2013년 KAIST 전기및전자공학과 박사  
2013년~2015년 ETRI 융합기술연구소 연구원  
2015년~현재 국립군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 조교수  
※관심분야 : Wireless Power Transfer, Energy Harvesting Networks, Self-Organizing Networks 등



양해권(Haekwon Yang)

1976년 서울대학교 전기공학과 학사  
1983년 울산대학교 대학원 석사  
1992년 전북대학교 대학원 박사  
1987년~현재 국립 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수  
※관심분야 : Data Networks, Mobile Communications 등

자기 공진 기반의 무선전력전송 시스템에서 송수신 공진기의 구조 차이에 따른 달성 가능한 효율 비교



**나인호(In-Ho Ra)**

1991년 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사

1995년 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사

1995년~현재 국립 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

※관심분야 : Wireless Ad hoc & Sensor Network, Telematics System, Ubiquitous Computing, PS-LTE 등