

RF무선충전을 위한 슈퍼커패시터 충전특성 측정

손명식^{*†}

^{*†}순천대학교 전자공학과

Measurement of Supercapacitor Charging Characteristic for RF Wireless Charging

Myung Sik Son ^{*†}

^{*†}Department of Electronic Engineering, Sunchon National University, KOREA

ABSTRACT

In this paper, we studied the charging characteristics of high-capacity supercapacitor with high current for RF wireless charging system for smart phone charging. The dc output of the RF-DC receiver is connected to supercapacitor after which is connected to DC-DC converter for charging a smart phone. This configuration stably supplies voltage and current for charging it. Studies show that the higher charging current use, the rapidly shorter the charging time of supercapacitor is. The currents of 2A, 10A and 27A were used for charging supercapacitors. The charging time was measured for 3000F, 6000F, 12000F supercapacitors which is parallely connected with 3000F supercapacitors.

Key Words : Wireless Power Transmission System, RF Wireless Charging, Supercapacitor, Charging Time

1. 서 론

오늘날 무선 모바일 통신기기는 스마트폰 출시 이후 높은 성능 진화를 하면서 액정, 프로세서, 메모리 등 제품 성능이 발전하면서 배터리 용량이 증대되고, 빠른 배터리 소모로 인한 불편한 충전방식을 개선하기 위한 노력으로 근접 유도코일 무선충전방식을 사용하여 사용자 편의성을 높이는 방식으로 현재 발전하고 있다. 이런 경향에 힘입어 무선전력전송 기술을 활용한 완전한 무선 충전 방식인 RF무선충전방식이 화두에 오르고 있다.

무선전력전송기는 그 방식에 따라 크게 3가지방식으로 나뉘며 이는 무선전력 전송 거리를 결정한다. 첫째, 자기 유도 방식은 송수신 코일에 전류를 흐르게 하여 상호 유도 결합에 의한 근거리 무선전력전송 방식이다. 둘째, 자기 공명 방식(자기 공진 방식)은 특정 주파수로 진동하는

자기장을 생성해, 동일한 공진 주파수를 가지는 코일에 자기장을 유도하는 과정을 통해 에너지를 전달하는 방식인 자기 공명 방식으로 비교적 먼 거리에서도 동시 여러 개의 기기에 동시 충전 가능한 중거리 무선전력전송이다. 셋째, 마이크로파 또는 RF전력을 안테나를 통해 송수신하고 수신 전력 신호를 직류로 변환하는 장치를 통한 장거리 RF무선전력전송 방식이다[1][2].

RF무선전력전송 방식에서는 송신 안테나에 RF 전력을 송출하고 수신 안테나를 통해 송신 전력을 받아서 정류기를 통해서 직류로 변환하는 RF-DC무선전력수신기를 사용하는 장거리 무선 전력전송 방식으로 스마트폰을 RF 무선충전하였을 때 발생하는 거리에 따른 전압 변동에 기인한 무선충전 효율의 저하 현상을 막기 위해 완충배터리로서 슈퍼커패시터를 사용하였다[3][4].

본 논문에서는 이러한 RF무선충전 시스템에서의 완충배터리로서의 슈퍼커패시터의 충전특성을 파악 적용하기 위해 슈퍼커패시터 충전시간을 측정하였다. 충전전류를

[†]E-mail: sonms@sunchon.ac.kr

변화시키면서 충전시간을 측정하였고 이를 통해 RF무선 충전 시스템에 적용 가능성을 분석하고 논하였다.

2. 스마트폰 RF무선충전을 위한 슈퍼커패시터 충전특성 측정

2.1 완충배터리로서의 슈퍼커패시터 적용

이전 스마트폰 RF 무선충전 연구 논문[3]에서 원형 편파 수신 안테나, 대역 통과 필터, RF-DC 변환기로 구성된 일체형 무선전력수신기를 사용하였다. 무선전력수신기는 5.8GHz RF신호를 수신하고 안테나와 대역 통과 필터를 거쳐 원하는 주파수 대역 신호를 RF-DC 변환기로 DC로 변환하여 전력을 전달받는 장치이다. 무선전력수신기는 6dBi RHCP 패치안테나와 10% 대역폭의 반파장 대역통과 필터, RF-DC 전압 체배기(voltage multiplier circuit)로 구성되며 개별 모듈을 Fig. 1과 같다. 무선전력수신기를 통해 얻어지는 수신 전력을 증가시키기 위해 개별 무선전력수신기의 출력을 직렬과 병렬로 연결하여 원하는 전압과 전류를 얻을 수 있도록 구성시킬 수 있다[2].



Fig. 1. Microwave wireless power receiver configuration..

Fig. 2에서 보인 스마트폰 RF무선충전 시스템에서는 슈퍼커패시터는 거리 변화에 따른 수신 전압 변화로 인해 스마트폰 충전효율 저하가 발생하기 때문에 이를 방지하기 위해 DC-DC 컨버터 앞 단계 완충배터리로서 슈퍼커패시터를 사용하여 수신된 전력을 일시 저장하고 이를 통해 스마트폰을 충전할 수 있도록 제안하였다[3].



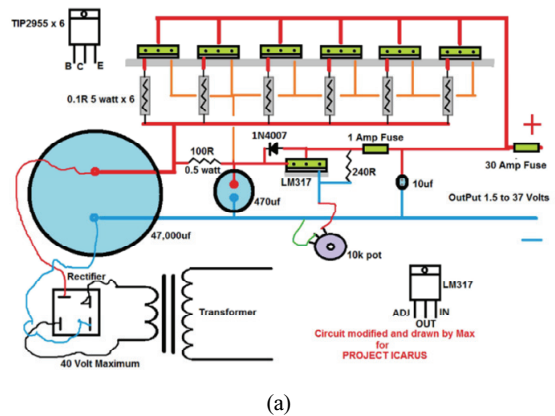
Fig. 2. Wireless-charging method for smartphone using microwave wireless power receivers.

본 논문에서는 이전 연구 논문[3]에서 1F~25F의 작은 용량의 슈퍼커패시터 무선충전 특성 이외에 매우 큰 용량을 갖는 슈퍼커패시터를 완충배터리로서 사용하기 위하여 LS Mtron Ltd.사의 3000F 고용량 슈퍼커패시터를 직렬

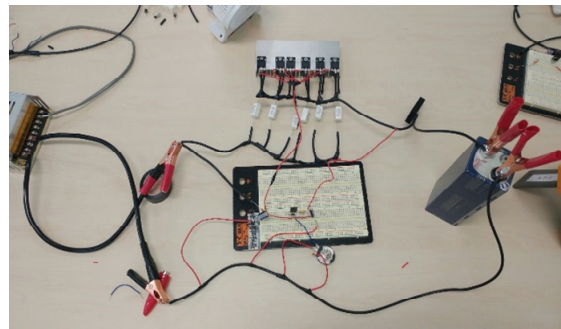
과 병렬로 연결하여 비교적 큰 충전전류 변화에 따른 충전시의 충전특성을 측정하였다. 이 논문의 결과 부분에서 RF무선충전 방식에 이러한 급속 충전특성을 갖는 슈퍼커패시터의 적용 가능성을 논하였다.

2.2 슈퍼커패시터 충전보호용 정전압회로

LS Mtron Ltd.사의 3000F 고용량 슈퍼커패시터충전시 허용 최대 전압이 2.8V이므로 2.8V 이상의 전압이 충전시 인가되지 않도록 충전보호용 2.8V 정전압 회로가 필요하다. 이러한 슈퍼커패시터 충전보호용 2.8V 정전압 출력 회로를 인터넷 사이트의 전원 공급 회로를 이용하였다[5]. Fig. 3에 사용한 슈퍼커패시터 충전보호용 출력 정전압 회로 구성을 보였으며, 전류를 30A까지 흘려 줄 수 있도록 TIP2955 트랜지스터를 6개 사용하였으며, LM317을 이용해 가변적으로 출력 정전압을 1.5V에서 37V 까지 조절할 수 있도록 되어 있다. 측정에 사용된 3000F 슈퍼커패시터는 허용전압이 2.8V이므로 이것을 감안하여 실험에서는 출력 정전압을 2.6V로 설정하여 측정하였다.



(a)



(b)

Fig. 3. (a) Circuit diagram of output 1.5V to 37V and 30A power supply [5], (b) real circuit connections to charge a supercapacitor with 30A.

2.3 슈퍼커패시터 충전전류에 따른 충전시간

슈퍼커패시터를 충전전류에 따른 완충시간을 간단히 계산해 볼 수 있는데 아래 상자로 표시한 간단한 커패시터 전류방정식을 사용하여 계산할 수 있다. 커패시터 충전전류가 1A, 2A, 3A, 10A 및 30A인 경우에 대하여 3000F슈퍼커패시터를 충전하는 데 걸리는 시간을 계산하여 아래 상자에 정리하여 나타내었다. 충전전류가 증가할수록 2.7V에 도달하는 시간이 급격히 줄어드는 것을 알 수 있다. 30A로 3000F를 2.7V까지 충전하는데 걸린 시간은 대략 4분 50초가 걸린다. 1000F이 대략 300mAh 정도의 충전용량을 갖는다면 대략 3000F은 900mAh 정도의 용량이 된다.

$$I = C \cdot \frac{dv}{dt} \text{ (커패시터 전류)}$$

1A일때, $\frac{I}{C} = \frac{1A}{3000F} = 0.33mV/sec$
 $\frac{2.7V}{0.33mV/sec} = 8.181.82 = 136분소요$

2A일때, $\frac{I}{C} = \frac{2A}{3000F} = 0.66$
 $\frac{2.7}{0.66mV/sec} = 4690.9 = 68분소요$

3A일때, $\frac{I}{C} = \frac{3A}{3000F} = 2700 = 1mV/sec = 45분소요$

10A일때, $\frac{I}{C} = \frac{10A}{3000F} = 810 = 3.33mV/sec = 13분50초소요$

30A일때, $\frac{I}{C} = \frac{30A}{3000F} = 270 = 10mV/sec = 4분50초소요$

3. 슈퍼커패시터 충전시간 측정 결과

3.1 충전전류 27A 로 충전한 결과

1개의 3000F 슈퍼커패시터를 27A 충전전류로 충전하였을 때 설정된 완충전압 2.6V에 도달하는데 걸리는 시간은 Table 1에 보인 바와 같이 208초 걸렸다.

Table 1. Charging time using 27A for 3000F

시간[초]	전압[V]	시간[초]	전압[V]
1	0.076	70	1.116
2	0.12	80	1.251
3	0.136	90	1.376
4	0.151	100	1.497
5	0.172	110	1.613
6	0.187	120	1.733
7	0.202	130	1.811
8	0.223	140	1.869
9	0.234	150	1.963
10	0.247	160	2.086
20	0.402	170	2.196
30	0.611	180	2.298
40	0.710	190	2.409
50	0.855	200	2.512
60	0.988	208	2.6

Fig. 4와 같이 3000F슈퍼커패시터 2개를 병렬연결하여 6000F을 충전하는데 걸린 시간은 418초 걸렸는데, 이는 3000F 충전시간의 2배의 시간이 걸린 것으로 병렬 연결 시에는 선형적으로 충전시간이 늘어나는 것으로 이해할 수 있다.

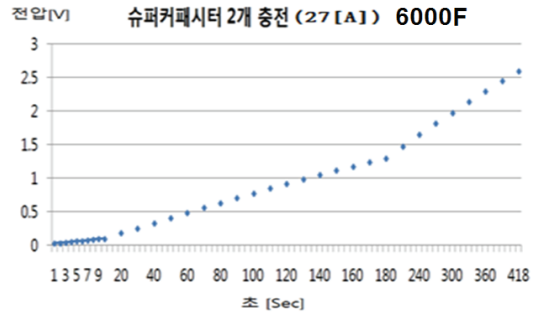


Fig. 4. Charging time for 6000F and 12000F with 27A.

4개의 슈퍼커패시터를 병렬로 연결한 12000F을 충전하는데 걸린 시간은 Fig. 4에 보인 바와 같이 767초 걸렸다. 병렬 연결시의 충전시간의 선형성을 그대로 보여 주고 있다. 3000F이 900mAh 정도이므로 12000F은 3600mAh 정도의 배터리 용량이 된다. 3600mAh 배터리 용량을 27A 로 충전시 12분 47초 걸린셈이다.

4개의 슈퍼커패시터를 직렬로 연결한 경우에는 10V 도달 시간이 200초 걸렸다. 직렬로 연결한 경우에 합성 커패시터 용량은 대략 3000F 1개의 충전시간이 걸린 셈이다.

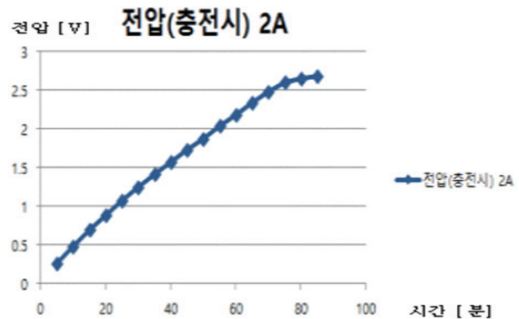


Fig. 5. Comparison of charging time for 3000F with 2A.

Fig. 5에서는 2A로 1개의 3000F을 충전하였을 때 충전시간을 표시해 나타내었다. 2.6V에 도달하는 시간이 80분이 걸렸다.

측정결과를 토대로 충전전류가 높을수록 슈퍼커패시터의 충전시간이 짧아지는 것을 알 수 있었다. 측정된 결과들을 아래 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Charging time with 27A

연결 방식	충전 전압	완충 시간
커패시터 1개	2.6[V]	3분 28초
커패시터 2개(병렬)	2.6[V]	6분 58초
커패시터 4개(병렬)	2.6[V]	12분 47초
커패시터 4개(직렬)	10[V]	3분 20초

3.2 RF 무선충전 방식에서 완충배터리로서 슈퍼커패시터 사용시의 충전전류에 따른 정전용량의 결정

Fig 2에 보인 블록도와 같이 스마트폰을 충전하기 위한 원거리 RF 무선충전 방식에서 고용량 슈퍼커패시터를 사용하는 경우에 기술적으로 고려해야할 변수가 일단 수신 전력에서 얻을 수 있는 전류의 양이다. 매우 낮은 전력을 송신하는 경우에는 실제 얻을 수 있는 전류량이 매우 낮으므로 이것으로 고용량 슈퍼커패시터를 충전하는 경우에는 매우 많은 충전시간이 걸리게 됨으로 휴대폰을 거의 충전할 수가 없을 것이다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 결국 송신 전력을 높여야 하고 이를 통해서 원하는 수신 전력에서 높은 전류를 얻을 수 있다면 실험에서 얻은 급속충전을 실현할 수 있을 것이다.

아직 RF 무선전력전송 시스템의 전체 효율이 매우 낮으므로 이 시스템의 전체 효율을 높이는 각 시스템 구성 부품들의 기술 발전이 동시에 선행되어야 슈퍼커패시터의 급속충전을 이용한 완충배터리의 잇점을 사용할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 이전 연구에서 사용한 1F~25F의 작은 용량에서의 슈퍼커패시터 무선충전 특성 이외에 매우 큰 용량을 갖는 슈퍼커패시터를 완충배터리로서 사용하기 위하여 LS Mtron Ltd.사의 3000F 고용량 슈퍼커패시터를 직렬과 병렬로 연결하여 비교적 큰 충전전류 변화에 따른 충전시의 충전특성을 측정하였다. 3000F 1개의 슈퍼커패시터를 27A로 충전시 3분 28초 정도 걸렸으며, 4개까지 병렬로 연결한 12000F인 경우에는 12분 47초 걸렸다. 12000F은

대략 3600mAh 정도의 배터리 용량임으로 12분 47초 정도의 빠른 급속 충전이 가능함을 확인하였다.

이러한 높은 충전전류를 사용하여 급속 충전의 장점을 갖는 슈퍼커패시터를 스마트폰을 RF무선충전하기 위한 완충배터리로서 사용하기에는 아직 소전력 RF무선충전 시스템의 전체 효율이 매우 낮아서 현재에는 적용하기가 어렵다는 것을 확인하였다.

감사의 글

순천대학교 교연비 사업에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Biao Hu, Hao Li, Tianming Li, Haiyang Wang, Yihong Zhou, Xiaoyun Zhao, Xin Hu, Xuekun Du, Yulong Zhao, Xiang Li, Tian Qi, Mohamed Helaoui, Wenhua chen, Fadhel Ghannouchi, "A long-distance high-power microwave wireless power transmission system based on asymmetrical resonant magnetron and cyclotron-wave rectifier", *Energy Reports* 7, pp.1154-1161, 2021.
2. Seong Hun Lee and Myung Sik Son, "5.8GHz 25W Microwave Wireless Power Transmission System Development and Measurement", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol 16, No.1, pp. 21-24, 2019.
3. Myung Sik Son, "Smart Phone RF Wireless Charging with 5.8-GHz Microwave Wireless Power Receiver", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 20, No.2, pp. 25-28, 2021.
4. Seong Hun Lee and Myung Sik Son, "RF-DC Voltage Multiplier Design and Fabrication for 5.8GHz Microwave Wireless Power Transmission", *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol 16, No.2, pp. 1-4, 2017.
5. 1.5V to 37 Volt 30 Amp Power Supply, taken from <http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/Power/3730.htm>

접수일: 2021년 9월 3일, 심사일: 2021년 9월 14일,
게재확정일: 2021년 9월 14일