ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62, No. 2, pp. 196~200, 2013
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.2.196

PRT 차량의 전력 공급시스템 개발

A Development of the Electric Power Supply System for PRT Vehicle

김 백 현† · 정 락 교* · 정 상 기** · 강 석 원*
(Baek-Hyun Kim · Rag-Gyo Jeong · Sang-Gi Chung · Seok-Won Kang)

Abstract - In this paper, the design of PRT vehicle power supply system is discussed. Since there is no power feeding line facilities in PRT system under development, the PRT vehicle must have its own energy storage device on board . For the energy storage device, ultra-capacitor bank is applied due to its fast charging capability and long life time. Charging the Ultra-capacitor bank is performed by wireless inductive power transfer system. The capacitor bank is charged up in less than 10 seconds when the vehicle is traveling by passenger stations. In this paper the design of the ultra-capacitor bank and the wireless inductive power transfer system for the PRT vehicle are discussed. Tests are conducted for the both system and the result shows the efficiency of the wireless inductive power transfer system is higher than 80%.

Key Words : PRT, Energy storage, Ultra-capacitor, Wireless charging

1. 서 론

최근 부각되고 있는 지속가능한 교통수단과 관련하여 영국, 네덜란드, 미국 등의 선진국에서 전용궤도에서 무인자동으로 승객의 요구에 따라 운행되는 일반 승용차 규모의 전기궤도 택시인 PRT(Personal Rapid Transit)의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 즉, 차량은 출발지 역사에서 목적지 역사까지 중간 역에 정차 없이 논스톱으로 운행되며, 급전시스템 측면에서 이 PRT 차량의 특징은 전력공급매체인 전차선이 없다는 것이다. 따라서 일반 승용차의 연료탱크와 같은 차량에 독립적인 에너지 저장 장치를 설치하여야 한다[1]. 이러한 에너지 저장장치로 리튬 이온 배터리와 울트라 커패시터를 검토하였으며, 검토 결과 저장장치의 무게 및 수명을 고려하여 울트라 커패시터를 채택하였다. 울트라 커패시터를 충전하기 위한 방식으로는 무선유도급전방식을 채택하였다. 무선유도급전방식 대신에 제 3궤조를 통한 역사 내 유선 급전도 가능하나, 무선유도급전시스템이 가이드웨이의 미관상 유리하고 효율도 많이 향상되어 주행중에 충전이 가능함으로 인하여 영업운행중 충전을 목적으로 급전설비로 이동하지 않아도 됨에 따라 시간을 지체하지 않을 수 있다는 장점을 지니어 개발중인 PRT에 적용되었다.

본문에서는 개발되고 있는 PRT 차량의 제원에서부터 에너지 소모량을 예측하고 울트라 커패시터의 규격 결정 및 채택된 무선유도급전방식과 그 시험 결과에 대해 논의 한다. 시험 결과에 따르면 울트라 커패시터는 이론적 수식과 동일한 결과를 보여주어 PRT 차량처럼 전차선 없이 독립적으로 주행하는 차량의 에너지원으로 적절하다고 판단된다. 무선유도급전시스템 역시 80% 이상의 에너지 전송 효율을 보임으로서 설치 여건상 유선 급전시스템이 부적합한 경우 훌륭한 대안이 될 수 있음을 보여주었다.

† Corresponding Author : On-demand Transit Research Team, KRRI, Korea.
E-mail : bhkim@krri.re.kr
* On-demand Transit Research Team, KRRI, Korea.
** High-speed Railroad Systems Research Center, KRRI, Korea.
Received : November 1, 2012; Accepted : January 5, 2013

2. 본 론

2.1 PRT 차량사양 및 주행성능 시뮬레이션

PRT 차량의 사양은 표 1과 같으며, PRT차량의 km당 에너지 소모량을 예측하기 위하여 차량의 성능 시뮬레이션을 수행하였다. 성능 시뮬레이션의 조건은 비교적 에너지 소모가 크게 나타나는 조건으로 가정하였다. PRT 시스템에서 역사 간격은 일반적으로 500[m] 내외로 예상되고 차량이 매 역사에 정차하지는 않으나, 매 역사에 정차할 경우가 단위 길이당 에너지 소모가 크므로 500[m]의 가상 노선을 대상으로 왕복 주행 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 가상노선은 200m마다 50m의 1% 구배구간을 가정하였다. 차량의 관성질량은 107%를 적용하였고 추진시스템의 효율은 일반 전기철도 차량의 85%~90%보다 낮은 80%를 가정하였다. 차량의 주행저항 R은 PRT 차량이 고무타이어에 콘크리트 노면을 주행하므로 일반 승용차에 적용하는 식을 적용하였다[2]. 식 (1)에서 v[m/s]는 차량의 속도이고 A는 차량전면의 면적, M은 차량의 만차 시 중량으로, 각각 A=1.8×1.8=3.24[㎡], M=1.3[ton]을 적용하였다. 또한 차량의 평균 보조 동력은 400w로 가정하였다. 그림 1에 나타낸 성능 시뮬레이션 수행 결과를 살펴보면, PRT차량의 최대 에너지 소모량은 0.158[kwh/km]로 계산되었다. 회생에너지를 고려할 경우에는 에너지 소모량이 줄어들 것으로 예상되나, 본 논문에서는 최악의 조건을 가정하여 회생에너지가 고려되지 않았다.

$$R=(74.5+1.98v)\times M+0.26Av^2\ [\mathrm{N}] \quad (1)$$

표 1 PRT 차량 사양
Table 1 Specifications of the PRT vehicle

항 목		특 성
승객 정원[좌석]		4
중량 [ton]	공차	0.9
	만차	1.3
가・감속도[m/s/s]		1.25
최고설계속도[km/h]		55
최고운행속도[km/h]		40
최대구배[%]		10
차량 폭[m]		1.8
차량 높이[m]		1.8
전동기 용량 [kw]		7.0

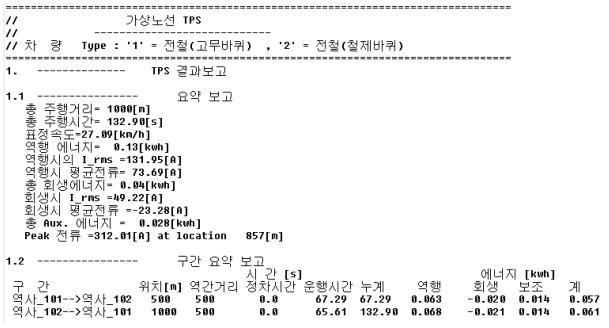

그림 1 에너지 성능 시뮬레이션 결과
Fig. 1 Result of the energy performance simulation

2.2 울트라 커패시터 에너지 저장 장치

PRT 시스템의 에너지 저장장치로 리튬 이온 배터리(Lithium-ion battery)와 울트라 커패시터(Ultra-capacitor)의 두 가지 장치를 비교하여 충전시간, 유지보수성 및 무게 등을 고려하여 울트라 커패시터를 적용하였다. 리튬 이온 배터리는 상용화되어 있는 18650-15Q를 고려하였으며 특성은 표 2와 같다.

리튬 이온 배터리의 경우에는 충전 시간이 길기 때문에

표 2 리튬 이온 배터리(18650-15Q)의 특성
Table 2 Characteristic of Li-ion battery

항 목		특 성
무 게		43[g]
정격 전압		3.6[V]
충전 시간	표준, 1C	180[분]
	급속, 4A	35[분]
충전 전류	표준, 1C	1.5[A]
	급속, 4A	4.0[A]
정격 용량		1.5[Ah]=5.4[wh]
수명 (정격의 80%까지)		500 [cycle]

하루에 1회 충전하는 것으로 가정하였다. 역사 정차 시간을 최대 1분으로 가정할 경우, 리튬 이온 배터리는 충전할 수 있는 에너지 양이 매우 작기 때문에 역사 정차 시 충전이 불가능하고 지정된 장소, 예를 들어 차고지 등에서 운행 이전에 충전하는 것이 일반적이다[3]. 실제로 표 2에 의하면 완속 충전의 경우에는 3시간이 소요되며, 급속 충전의 경우에는 35분이 소요되는 것으로 나타난다.

1일 차량 운전시간을 16시간으로 가정하고, 주행거리를 400[km]로 가정할 때, 차량의 1일 소모 에너지는 최대 0.158[kwh/km]×400[km]= 63.2[kwh]가 되고, 표 2에 의하면 배터리 무게가 (63.2[kwh] /5.4[wh])×43[g]/5.4[wh]=503[kg]으로 계산되어 공차중량이 900[kg]인 PRT 차량에 설치하기에는 적합하지 않은 것으로 검토되었으며, 결정적인 단점은 수명이 짧다는 것이다[3]. 표 2에 의하면 500[cycle]의 충·방전 후에 정격 용량의 80% 정도로 배터리 성능이 저하되는 것으로 나타난다. 결국 2~3년을 주기로 배터리의 교체가 요구된다. 울트라 커패시터의 경우 매 역사에서 충전하는 것을 가정하였다. 이것은 울트라 커패시터가 짧은 시간 내에 많은 에너지의 충전이 가능하기 때문이다. 역사에서의 충전 가능시간은 정차할 경우에는 약 1분의 정차 시간동안 충전이 가능하며, 역사에 정차하지 않을 경우에는 역사의 급전구간 통과하는 약 10초의 시간동안 충전이 가능한 것으로 가정하였다. 이것은 역사에 약 60[m] 길이의 무선유도급전구간(혹은 컨덕터 레일)이 설치되고 차량의 평균속도를 30[km/h]로 가정할 때, 무선유도 급전구간 통과 시간이 12초가 되기 때문이다. PRT 시스템에서 역사간 거리는 일반적으로 500[m] 내외이므로 충전구간과 충전구간 사이의 거리는 500[m]-60[m]=440[m]가 되고 한 역사에서 충전해야 할 에너지, $E_{req\text{-}charge}$는 식(2)와 같이 0.07[kwh]가 된다.

한편 커패시터의 에너지 용량은 식 (3)과 같다. 울트라 커패시터는 이론적으로 0[V]까지 방전도 가능하나, 후단에 연결되는 DC-DC 컨버터의 효율적인 운영을 위하여 V_2까지 방전하는 것으로 가정한다. V_1을 커패시터 방전 전 전압으로 정의하면 방전 시에 사용할 수 있는 에너지 E_{avail}은 식(3)에 의하여 식(4)와 같이 된다. 한편 커패시터의 충전전류 I, 충전시간 t 및 커패시터 전압 상승 $\triangle V$의 관계는 식(5)와 같고 일정 전류(constant current) 충전방식을 가정하면 식(6)이 된다. PRT 차량에 장착이 고려되고 있는 울트라 커패시터 모듈 2개의 사양은 표 3과 같다. 86[V], 62[F] 모듈 4개를 직렬로 연결하여 344[V], 15.5[F] 커패시터 뱅크로 사용하는 것을 가정하면, 이 커패시터 뱅크를 사용할 경우 역사에서의 충전 에너지 및 충전시간은 다음과 같이 검토된다. 식(2)에서 역사에서 필요한 충전 에너지는 $E_{req\text{-}charge}$ = 0.07[kwh]로 계산되었다. 역사에서 충전 전 커패시터 전압은 V_2이고 충전 후의 전압은 V_1이다. V_1을 커패시터의 정격전압인 344[V], V_2를 정격전압의 85 %인 292.4[V]로 하면 식(5)에서 $\triangle V$=344-292.4=51.6[V]가 되고 충전전류를 80[A]로 하면 충전시간 t는 (51.6×15.5)/80=10.0[s]가 된다. 이 기간 중 충전에너지는 E_{avail}=0.5×15.5×(344^2-292.4^2)=254,500[ws] =0.0701kwh가 되어 식(2)를 만족한다. 80[A] 충전 전류는 연속전류가 아니며 500[m] 주행구간 중 60[m]의 충전구간에서만 흐르므로, 실제 충전전류의 실효값은 I_{rms}= $\sqrt{60/500\times 80^2}$ =27.8[A]가 되어 충전장치의 정격 용량은 90%

효율을 고려하여 344×27.8/0.9=10.6[kw] 이상이면 된다.

$$E_{req-charge} = 0.158[\text{kwh/km}] \times 0.44[\text{km}] = 0.07[\text{kwh}] \quad (2)$$

$$E = \frac{1}{2} C V^2 \quad (3)$$

$$E_{avail} = \frac{1}{2} C V_1^2 - \frac{1}{2} C V_2^2 \quad (4)$$

$$\frac{1}{C}\int_0^t I\, dt' = \Delta V \quad (5)$$

$$t = \frac{\Delta V \times C}{I} \quad (6)$$

표 3 울트라 커패시터 사양
Table 3 Specifications of ultra-capacitor

항 목	사 양	
타입	86[V], 62[F]	48[V], 166[F]
정격 전압	86[V]	48[V]
정격 용량	62[F]	166[F]
내부 저항	10.8[mΩ]	4.8[mΩ]
무게	21[kg]	16.9[kg]
부피	19.8[L]	13.3[L]
수명	50만~100만 [cycle]	

2.3 무선유도급전 시스템

무선유도급전 방식은 그림 2에 나타낸 것과 같이 기본적으로 전자유도에 의한 방식으로 지상에 코일을 매설하여 자속을 발생시키어, 이 자속이 차량하부에 설치된 마그네틱 코어를 통하여 흐르도록 한다. 이 자속을 이용하여 마그네틱 코어에 감겨진 픽업 코일에 유도 기전력을 발생시킴으로서 지상의 전력을 차량으로 전송하는 방식이다[4, 5]. 지상에는 마그네틱 코어가 설치되고 급전 케이블이 왕복으로 설치된다. 이 급전케이블에 흐르는 전류 I_1이 급전케이블 주위에 자속 Φ를 생성하는데 전류 I_1과 자속 Φ의 관계는 식(7)과 같이 표현된다. 식(7)에서 R_1(reluctance)은 지상의 마그네틱 코어와 차량하부의 마그네틱코어로 형성되는 자기회로의 자기저항을 의미한다. 차량의 마그네틱 코어와 지상의 마그네틱 코어 사이에는 공극이 존재하여, 자기저항 R_1이 매우 크므로 식 (7)에 의하면 자속 Φ가 매우 작아지게 된다. 한편 차량의 픽업코일에 유도되는 기전력은 식 (8)과 같이 표현되어 Φ가 작기 때문에 유도 기전력 E_2가 작아지므로 급전선로의 전류 I_1의 주파수 f_1를 높게 설정하여 유도 기전력 E_2를 커지도록 하였다. 본 논문에서 적용한 무선유도급전 시스템의 파라미터는 N_1=3, f_1=20[kHz]이다. 마그네틱 코어의 재질은 페라이트가 사용되었으며 공극은 약 12[cm]이다. 주파수가 20[kHz] 정도 되면 표피효과에 의해 케이블의 저항이 매우 높게 되어 저항손이 매우 커지므로 급전 케이블로서는 소선의 반경을 작게 하여 표피효과를 줄이도록 설계된 리츠 케이블을 사용하였다. 사용된 리츠 케이블은 20[kHz]에서 저항이 0.002[Ω/m]이다. 20[kHz]의 고주파 전류이므로 급전 케이블의 임피던스를 낮추어 급전케이블에서의 전압강하를 최소화 하였다. 즉 급전케이블의 공진주파수를 20[kHz]에 맞추었다. 그림 2는 무선유도급전 장치의 등가회로이며, 그림에서 C_1, C_2를 제외하고는 하드웨어적으로 고정된 값이다. 즉, 무선유도급전 설비공사를 마친 후 C_1, C_2를 조정하여 공진주파수 값을 20[kHz]로 맞추었다.

$$\Phi = \frac{N_1 I_1}{R_1} \quad (7)$$

$$E_2 = k f_1 N_1 \Phi \quad (8)$$

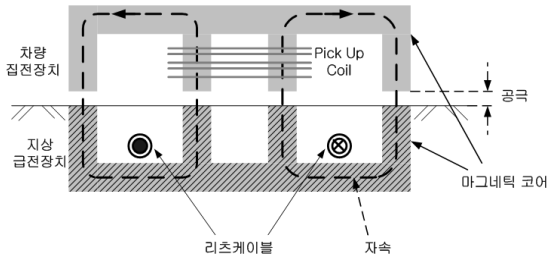

그림 2 무선유도급전 시스템의 개념도
Fig. 2 Diagram for wireless inductive charge system

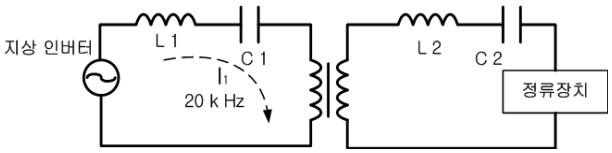

그림 3 무선유도급전 시스템의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit for wireless inductive charge system

2.4 성능 시험

2.4.1 울트라 커패시터 뱅크의 성능 시험

PRT 차량의 제작에 앞서 각 구성 시스템의 기능 및 성능을 확인하기 위한 시험선의 조건이 일반 노선의 조건과 상이함으로 차량 구성 시스템의 사양도 동일하지 않다. 시험선에는 1개의 무선유도급전 장치가 설치되었으며, 시험선을 1회 왕복 주행하는데 필요한 에너지는 0.16[kwh]로 산정되었다. 역사 충전소에서 96[V]에서 192[V]까지 충전에 소요되는 시간을 120초 이내로 사양을 정하고 커패시터를 선정한 결과, 표 3의 48[V], 166[F] 모듈 4개를 직렬로 연결하여 192[V], 41.5[F] 커패시터 뱅크를 사용하였다. 각 커패시터 모듈은 각각 173.3[F], 175.6[F], 177.2[F], 176.8[F]로 측정되었고 4개를 직렬로 조합하면 43.93[F]가 된다. 36.9[A]의 일정 전류로 충전 시험한 결과는 그림 4와 같으며, 96.2[V]에서 192[V]까지 충전에 소요되는 시간은 112초가 소요되었다. 한편, ΔV=192-96.2=95.8[V], C=43.93[F] 및 I=36.9[A]를 식(6)에 대입하면, t=114[s]가 되어 시험 값과 허용범위 내로 계산된다. 그림 4에서 점선은 충전전류이며 실선은 커패시터 전압을 나타낸다.

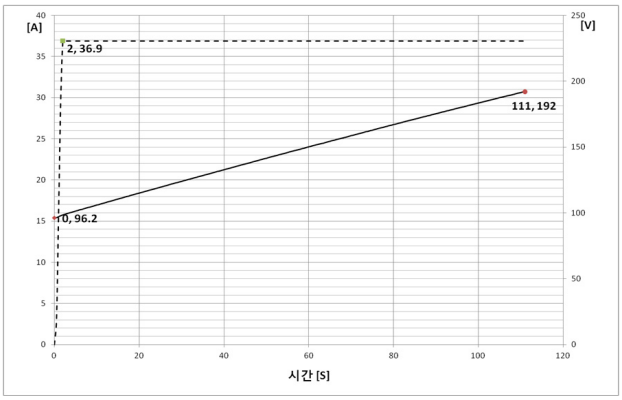

그림 4 울트라 커패시터 충전 시험결과
Fig. 4 Test result of charging ultracapacitor

2.4.2 무선유도급전 시스템의 성능 시험

무선유도급전 시스템의 성능 시험은 무선 유도급전시스템의 효율을 측정하는데 초점을 맞추었다. 그림 5는 무선유도급전 시스템의 구성 및 측정 위치를 보여준다. 표 6에서 P1 위치에서 전압은 3상 선간전압이고 전류는 선 전류 값이며, 전력 값은 전력계로 직접 측정한 값이다. P4 위치에서의 전력 값은 전압 및 전류 값으로부터 계산된 값이다. P2 및 P3에서는 전압, 전류가 20[kHz]이므로 오실로스코프로 전압 및 전류파형을 측정하여 전력을 계산하였다. P3에서는 전압과 전류가 거의 동상이며, 전압은 구형파이고 전류는 사인파이므로 전류의 평균과 전압을 곱하여 전력을 계산하였다. 측정된 전압 값은 420.6[V]이고 전류 값은 실효값으로 20.59[A]이다. 따라서, 전류 평균값은 식(9)에 의해 18.53[A]가 되고, 전력은 420.6[V]×18.53[A]=7.79[kW]로 계산된다. 레귤레이터의 효율은 96%로 계산되었고, 인버터 효율도 레귤레이터 효율과 마찬가지로 96%로 가정하여 인버터 손실을 계산하였다. 리츠 케이블의 저항이 0.002[Ω/m]이고 길이가 28[m]이므로 리츠 케이블의 손실은 0.056[Ω]이 된다. P2 위치에서의 전류 실효값은 100.2[A]이므로 리츠케이블에서의 손실은 0.562[kw]이다. 픽업코일의 손실은 전체 손실에서 다른 기기의 손실을 감하여 계산하였으며, 효율계산의 결과는 표 7과 같으며 전체시스템의 효율은 80.6%로 나타났다. 표 7에서 인버터 출력 및 리츠케이블의 입출력이 별도로 측정되지 않았다. 이는 리츠케이블과 픽업코일을 분리하여 손실을 측정할 수 없기 때문이며, 리츠케이블의 손실은 리츠케이블의 저항과 전류 값으로부터 계산되었다. 표 7에 의하면 리츠케이블의 동손이 전체 손실의 31%이다. 리츠케이블의 동손, $I_1^2 r$,을 감소시키기 위해서는 f_1을 증가시켜야 한다. f_1을 a배 증가시키면 동손은 $1/a^2$배로 감소한다. 그러나 f_1을 증가시키려면 인버터 또는 레귤레이터의 손실이 증가될 것이다. 또한 동손은 리츠케이블의 길이에 비례하므로 충전거리를 짧게 함으로써 동손을 줄일 수 있다. 충전 거리가 짧아지면 충전시간이 짧아지고, 따라서 충전전류가 커져야 한다. 동손이 전체 효율값에서 약 6%를 차지하므로 설계 최적화를 통해서 동손을 1/2로 줄이면 전체효율을 3%정도 증가시킬 수 있다. 그림 6에서 인버터 출력전압과 전류의 위상차는 약 70도 정도로 보인다. 공진주파수를 맞추어도 회로내 리액턴스 성분이 저항성분보다 크기 때문이다. 픽업에서 1차측과 2차측의 권선비가 1/16이므로, 부하의 저항성분은 1차측에서는 1/256배가 된다.

$$I_{average} = \frac{1}{\pi}\sqrt{2}\times 20.59\int_0^{\pi}\sin\theta\, d\theta = 18.53\,[\mathrm{A}] \tag{9}$$

표 6 무선유도급전 측정 결과
Table 6 Measurement result of wireless inductive charge

측정 위치	전압 [V]	전류 [A]	전력 [kW]
P1	377.1	16.15	9.28
P3	420.6	20.59	7.79
P4	312.6	23.93	7.48

표 7 무선유도급전 효율 측정결과
Table 7 Measurement result of wireless inductive charging efficiency

기 기	입력[kW]	출력[kW]	손실[kW]	효율[%]
인버터	9.28	-	0.371	96
리츠케이블	-	-	0.562	-
픽업코일	8.347	7.79	0.557	93.3
레귤레이터	7.79	7.48	0.31	96
전체 시스템	9.28	7.48	1.8	80.6

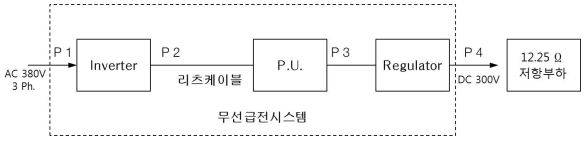

그림 5 무선유도급전 시험 측정 위치
Fig. 5 Measurement point of wireless inductive charging test

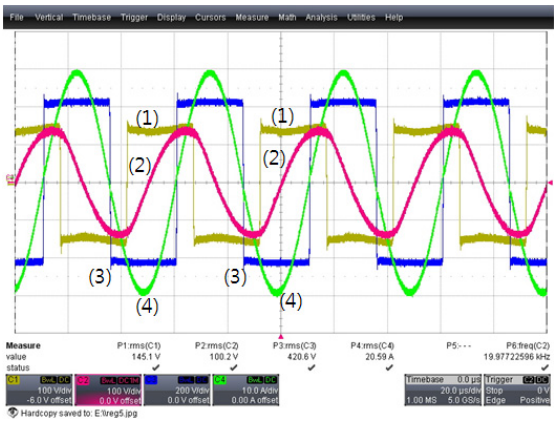

그림 6 P2 및 P3 위치에서의 전압 및 전류 파형
[(1) : 인버터 출력전압, (2) : 인버터 출력전류, (3) : 레귤레이터 입력전압, (4) : 레귤레이터 입력전류]
Fig. 6 Waveform of voltage and current at P2 and P3
[(1) : Inverter output voltage, (2) : Inverter output current, (3) : Regulator input voltage, (4) : Regulator input current]

3. 결 론

본문에서 살펴 본 바와 같이, 울트라 커패시터는 PRT 차량의 에너지 저장장치로 매우 적절하다고 판단된다. 저장장치의 무게도 약 80kg으로 일반 승용차의 연료탱크 무게와 유사하다. 또한 충전도 충전장치에 정차함이 없이 주행 중에 수행되므로 보다 효율적인 차량 운행을 가능하게 한다. 커패시터에 저장되어 있는 에너지도 전압을 측정함으로써 정확하게 측정할 수 있다는 것, 수명이 50만 내지 100만 사이클로 반영구적이라는 특성 또한 추가적인 장점이다. 급전시스템으로서는 유선급전시스템과 무선유도급전시스템 두 방식이 모두 고려될 수 있다. 시험 결과 무선유도급전시스템의 효율은 약 80% 정도로 나타났지만 설계최적화를 통해서 3%정도 향상될 가능성은 있다. 효율면에서는 유선 급전시스템에 비해 불리하나, 지역 및 운행 환경의 여건상 유선급전시스템이 적합하지 않을 경우에는 훌륭한 대안이 될 수 있음을 보여주었다.

References

[1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.

[2] Vukan Vuchic, "Urban Public Transportation", Vukan Vuchic, Univ. of Pennsylvania, 1981.

[3] Yoichi Hori, "Future Vehicle Society based on Electric Motor, Capacitor and Wireless Power Supply", Yoichi Hori, 2010 International Power Electronics Conference.

[4] Yangbae Chun, Seong Park, Jiseong Kim, Hongseok Kim, Kiwon Hwang, Joungho Kim, Seungyoung Ahn, "System and Electromagnetic Compatibility of Resonance Coupling Wireless power Transfer in On-Line Electric Vehicle", 2012 International Symposium on Antennas and Propagation.

[5] 정구호외 13명, "온라인 전기 자동차를 위한 급전 및 집전 시스템", 전력전자학회 2010년도 하계학술대회 논문집.

저 자 소 개

김 백 현 (金 伯 鉉)

1994년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업. 1996년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2003년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2003년 3월~현재 한국철도기술연구원 수요응답형교통연구단 선임연구원.

Tel : 031-460-5443
Fax : 031-460-5036
E-mail : bhkim@krri.re.kr

정 락 교 (鄭 樂 敎)

1991년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1999년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년 12월~1994년 12월 한진중공업 사원. 1995년 1월~현재 한국철도기술연구원 수요응답형교통연구단 단장(책임연구원).

Tel : 031-460-5725
Fax : 031-460-5036
E-mail : rgjeong@krri.re.kr

정 상 기 (鄭 相 基)

1974년 서울공대 전기과 졸업. 1980년 미국 위스칸신주립대학 전기공학 석사. 2002년 명지대학교 전기공학 박사. 1997년 2월~2011년6월 한국철도기술연구원 수석연구원. 현재 한국철도기술연구원 자문연구위원.

Tel : 031-460-5733
Fax : 031-460-5459
E-mail : sgchung@krri.re.kr

강 석 원 (姜 錫 元)

2005년 2월 한양대학교 기계공학부 졸업. 2007년 2월 KAIST 기계항공시스템학부 졸업(석사). 2012년 5월 Texas A&M Univ. College Station 기계공학과 졸업(박사). 2007년 1월~2008년 7월 르노삼성자동차 사원. 2012년 5월~현재 한국철도기술연구원 수요응답형교통연구단 선임연구원.

Tel : 031-460-5673
Fax : 031-460-5036
E-mail : swkang@krri.re.kr