http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2015.24.1.124

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2283-4846(Online) / ISSN 2233-6036(Print)

Technical Papers

슈퍼캐패시터를 이용한 자동차 전압 안정화 모듈

박석희[a], 정규원[b*]

Vehicle Voltage Stabilizing Module Using Supercapacitors

Sukhee Park[a], Kyuwon Jeong[b*]

[a] Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Chungbuk National University, 1 Chungdaero, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea
[b] School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdaero, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 8 December 2014
Revised 13 January 2015
Accepted 3 February 2015

Keywords:
Vehicle
Electric double layer capacitor (EDLC)
Supercapacitor
Electricity
Voltage drop

ABSTRACT

The performance of a passenger vehicle has been greatly improved recently owing to the intensive use of electronic controllers. Many components of a vehicle, including the engine, are controlled by electronic systems installed in the vehicle. Therefore, the electrical power required for such electronics has increased significantly. However, the electrical power generated by the vehicle's alternator, operated by the engine, is limited, and when the vehicle is started, a large instantaneous current is required. The voltage of the vehicle electrical system fluctuates to a very low level, then, it is gradually recovered. This case is very severe and can even cause damage to electronic systems. In this study, a voltage-stabilizing module comprising electric double layer supercapacitors, which could alleviate the voltage variation, was developed and tested.

1. 서 론

우리나라 자동차 및 부품산업 관련한 국제 경쟁력 제고를 위해 범 정부적으로 기술개발에 전력을 다하고 있으며, 유럽연합의 CO_2 규제, 미국의 LEV-II/Tier-II 및 유럽의 EURO-IV/V 배기가스 규제에 대응하면서 21세기 글로벌 정보·지식·기술 경쟁시대에 대응해 2010년대의 환경, 연비(에너지) 및 안전규제에 대응할 수 있는 초저공해 자동차 기술을 개발을 하고 있다. 또한, 현재의 자동차는 IT와 접목되어 최첨단 전자공학과 기계공학의 결과물이며 특히, 각종 전자장치 및 센서 등이 부착됨에 따라서, 차량의 전력소비는 기하급수적으로 증가되었고, 연비향상을 위해서는 전력에 대한 보조전원 및 전압안정 등이 대두되고 있으며, 향후에는 차량용 배터리의 전원이 12 V에서 48 V급으로 상향될 것으로 전망된다.

차량의 작동원리는 배터리에서 스타트모터에 전원을 공급하여 시동이 가능하게 한 후에 시동이 걸린 상태에서 얼터네이터에서 전기를 생산하여 엔진이 정상으로 돌아가게 되면 배터리에서 담당하던 전기 공급을 얼터네이터에서 담당하는 구조로 되어있다. 얼터네이터에서 만들어지는 생산된 전기는 교류전기이며, 만들어진 교류전기는 얼터네이터 내의 정류회로를 통해 직류로 정류되어 배터리와 차량의 각 전기 장치로 공급이 되게 된다. 하지만, 얼터네이터에서 정류된 교류는 완전히 정류되지 못하여 완전한 직류가 되지 않으며, 이러한 완전히 정류되지 못한 전기는 굴곡이 있는 파형을 생성하게 되어, 맥류(굴곡이 섞여있는 직류)를 발생시키며, 얼터네이터의 노후 정도에 따라서 이러한 맥류의 폭은 커지고, 이러한 맥

* Corresponding author. Tel.: +82-43-261-3222
Fax: +82-43-263-2448
E-mail address: jeong@chungbuk.ac.kr (Kyuwon Jeong).

류가 커지게 되면 자동차의 전기 공급에 차질을 빚게 된다.

이와 같은 어려운 상황을 해소하기 위하여 전압안정기를 사용하는 기술이 대두되고 있다. 전압안정기(voltage stabilizer)는 전자제어 제동장치(ECB) 백업 전원, 전동파워 조향장치의 순간최고전력보조, 하이브리드 전기차에서 동력 보조, 제동에너지 회수 등 자동차에 다양하게 사용될 수 있다. 특히 최근에 개발되는 초고용량 커패시터는 기존의 캐패시터에 비하여 용량이 획기적으로 커졌기 때문에 대용량의 전압안정기를 만드는데 사용될 수 있다[1-3].

본 논문에서는 최근에 개발된 슈퍼캐패시터를 이용하여 차량용 전압안정기의 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하고, 제작된 장치를 대전력이 필요한 자동차에 장착하여, 개발된 시스템이 적절히 동작하는가를 실험으로 확인하였다.

2. 전압안정화장치 개발

2.1 자동차 전압안정화장치

차량용 전압안정기로서 요구되는 사항들은 다음과 같다.

① 발진과 가속, 등판, 고속 등의 주행 조건에서는 큰 출력이 순간적으로 필요하기 때문에 출력밀도가 큰 에너지 저장시스템이 중요함.

② 전기자동차에 탑재하기 위해서는 경량, 소형이며, 가급적이면 형상을 자유롭게 선택할 수 있는 것이 바람직하며, 보수를 필요로 하지 않는 것.

④ 내구성과 신뢰성, 안전성도 중요함.

⑤ 자동차의 사용 환경은 매우 가혹. 작동온도는 -30℃ ~ +60℃ 범위로 변화하고, 이 온도범위에서 내온도성을 가질 것.

⑥ 자동차는 10년간 사용되는 것을 전제. 급격한 충방전과 과방전, 과충전 등의 원인으로 축전시스템의 수명이 극단적으로 단축되는 경우가 없어야 함. 즉, 충·방전 사이클 수명이 길어야 함.

위와 같은 사항을 만족시키기 위하여 최근에 개발된 슈퍼캐패시터를 이용하여 자동차에서 사용되는 전류를 보충할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 다음 그림처럼 자동차의 배터리와 병렬로 연결하여 실험하였으며, 개략적인 구성은 Fig. 1과 같다. 모듈의 전체 제어는 마이크로 콘트롤러 유닛(MCU)로서 Atmega128을 사용하였고, 슈퍼캐패시터에 흐르는 전류와 전압을 측정하는 기능과 모듈의 상태를 전송할 수 있는 통신 기능을 갖고 있다.

2.2 전압안정화장치 설계

2.2.1 슈퍼캐패시터

본 논문에서는 최근에 개발된 대용량의 캐패시터를 사용한다. 동작원리는 EDLC 방식이며, 용량은 50 F, 기준전압 2.7 V, 크기는 18D40L, 즉 직경 18 mm, 길이 40 mm이다. 이를 사용하여 차량

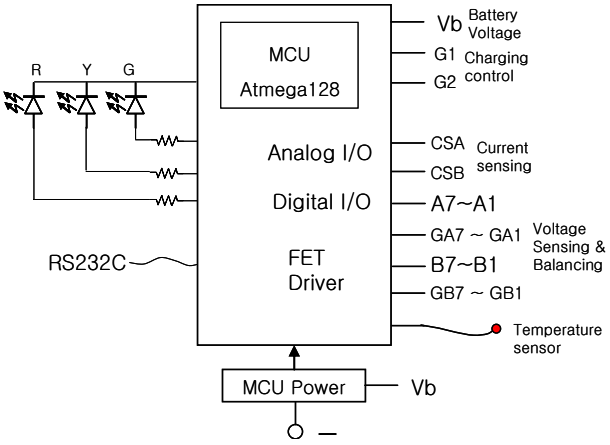

Fig.1 Block diagram of the voltage stabilizing system

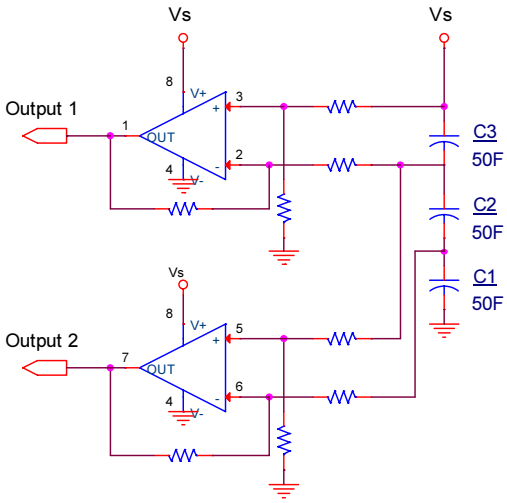

Fig. 2 Mesurement of capacitor voltage

의 전압수준에 맞추기 위하여 단셀을 직렬로 7개를 연결하고, 용량을 크게하기 위하여 병렬로 2셋트를 연결하여 사용한다.

2.2.2 캐패시터 전압 측정 회로

캐패시터를 직렬로 연결하고, 각 셀의 전압을 측정하기 위하여 연산증폭기(OP amp.)를 사용한 전압추종기 회로와 차동증폭 회로를 이용하여 각 셀에 걸리는 전압을 측정한다. 본 논문에서는 연산증폭기로서 단극 전원을 사용하는 LM2904를 사용하였다. 이러한 방식을 통하여 전압을 측정할 경우 전압추종회로의 연산증폭기의 공급 전압은 차량 배터리의 전압보다 높아야 하는데 그러기 위해서는 승압 회로가 필요하게 된다.

이때 연산증폭기와 타이머 IC NE555를 이용한 승압회로 구현시 전력의 소비량이 증가되므로 이를 해결 하기위하여 차동증폭 회로의 저항 값을 증가시켜서 캐패시터의 전류가 연산증폭기로 흐르는 것을 줄이고, 각 셀의 전압을 측정 할 수 있도록 Fig. 2와 같이 회로를 구성하였다. Fig. 2과 같이 회로를 설계하는데 있어서 차량

Table 1 Test result of capacitor voltage measurement

No.	LM2904 Vs (V)	C3 Voltage (V)	C2 Voltage (V)	LM2904 Output 1 (V)	LM2904 Output 7 (V)
1	8.01	1.112	1.155	1.106	1.156
2		1.495	1.533	1.481	1.530
3		1.721	1.770	1.723	1.767
4	9.05	1.678	1.719	1.670	1.721
5		1.917	1.948	1.890	1.938
6		2.137	2.170	2.110	2.159

배터리의 전원을 이용하게 되는데 이때 배터리의 전압은 항상 일정하지 않고 변동하게 된다. 이로 인하여 연산증폭기의 출력 값이 변화 되는지를 확인이 필요하였다. 공급 전압 변동에 따른 연산증폭기 출력의 변화를 확인하기 위하여 그림과 같이 회로를 구성하고 실험하여 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이번 실험을 통하여 연산증폭기의 출력 전압보다 낮거나 같은 공급 전압이 들어오지 않으면, 출력에는 아무런 문제가 되지 않는 것을 확인하였다.

2.2.3 ADC 포트 확장

모듈 제작에 이용한 MCU는 A/DC 포트가 총 8개뿐이다. 그러나 모듈에서 필요로 하는 A/DC 포트는 캐패시터 14개, 세그먼트, 배터리 전압, 전류 센서 2개까지 총 18개의 A/DC 포트를 필요로 한다. 이를 해결하기 위하여 별도의 외부 A/D 변환 칩인 TLC1541을 이용하였다. 이는 A/DC 채널이 총 10개가 있으며 10 bit의 분해능을 갖고 있기 때문에 MCU의 A/DC와 가장 유사하다. 그러나 조작 순서도를 보면 I/O Clock과 System Clock의 두 개가 있다. 여기에서 System Clock의 경우 I/O Clock보다 약 2배가량 빨라야 동작이 된다. 또한 A/DC 수행 시간을 필요로 하기 때문에 이를 고려하여 제어하여야 한다. 이를 위하여 타이머 IC NE555를 이용한 주파수 발생 회로를 이용하여 System Clock을 만들어서 TLC1541에 공급해 주고 I/O Clock은 MCU의 일반 I/O 포트를 이용하여 제어하였다. 회로의 정확성을 확인하기 위하여 ADC에 전압을 입력하고 이에 해당하는 변환된 값을 얻었다. 이에 대하여 10 bit 변환기의 해상도는 5V/1024 = $4.8828125*10^{-3}$, 즉 약 0.005 V를 이용하여 오차를 구하였다.

오차는 A/DC 출력에 해당하는 이론적인 설계 전압과 입력 전압의 차이이다. 실험결과를 나타낸 Table 2를 보면 최대 0.08 V가 차이가 있으며, 평균적으로 0.053V의 오차가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 실용적으로 사용하는 시스템에서는 충분한 정도이다.

2.2.4 전계효과트랜지스터(FET)를 이용한 스위칭 회로

본 논문에서 사용하는 슈퍼캐패시터는 기준 전압 이상으로 충전

Table 2 A/D results of capacitor voltage measurement

Input Voltage (V)	A/DC Output (hexa decimal)	Ideal Voltage for ADC (V)	Error (V)
0.362	0×0031	0.245	-0.117
0.565	0×0059	0.445	-0.12
0.759	0×0085	0.665	-0.094
1.852	0×0171	1.845	-0.007
2.191	0×01BB	2.215	0.024
2.536	0×0205	2.585	0.049
2.641	0×021D	2.705	0.064
2.726	0×0231	2.805	0.079
3.265	0×02A1	3.365	0.1
3.520	0×02D9	3.645	0.125
3.732	0×030B	3.895	0.163
3.923	0×0332	4.090	0.167
4.640	0×03D2	4.890	0.25
Average			0.053

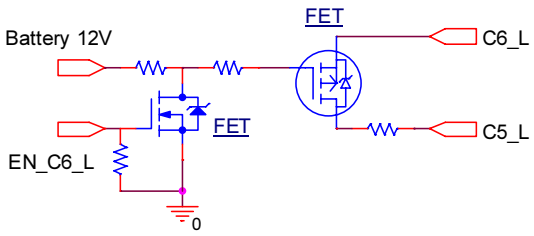

Fig. 3 Switching circuits using FET

이 되면 캐패시터로서의 기능을 상실하게 된다. 따라서 이를 방지하기 위하여 A/DC를 이용하여 각 캐패시터 셀의 전압을 모니터링하면서 캐패시터의 전압이 허용 전압인 2.7 V 이상 걸리게 되면 FET를 이용하여 전류를 바이패스하는 회로를 구현한다. FET를 이용한 스위칭 회로 Fig. 3은 p-Ch.의 FET와 n-Ch. FET를 이용하여 직렬로 연결된 캐패시터를 스위칭 하게 된다. 그림의 EN신호에 5 V가 주어지면 대전력 FET가 도통하면서 전류를 바이패스시킴으로써 캐패시터에 과충전되는 것을 방지한다. 모듈에 흐르는 전류를 모니터 하고자 각 셋트에 전류 센서를 부착하여 측정한다. 본 논문에서는 감도가 가장 좋은 WCS1800의 제품을 이용하여 측정 하였다.

2.2.5 전압 안정화 모듈 운용 방법

전압안정화 모듈을 사용하기 위해서 차량의 기존 납축전지의 전압, 제너레이터의 발전 전압, 사용전압 및 안정화 모듈내의 슈퍼캐패시터의 충전 전압 등의 관계가 서로 연관되어 있기 때문에 이들의 전압 및 전류 상태에 따라 적절한 운용이 이루어져야한다. 본 논문에서 개발된 방법은 Fig. 4와 5를 이용하여 구현하였다.

Fig. 4는 캐패시터 어레이와 배터리 전압 측정 및 전류 측정 그리고 캐패시터 각 셀을 FET를 이용하여 스위칭하는 부분이다. 프로그램 순서도는 Fig. 5와 같으며, 프로그램 시작과 동시에 포트 초기화 및 전력 유입 FET를 OFF 시켜서 초기에는 전력이 유입 되지 않도록 한다.

Fig. 4의 가장 윗부분에 있는 다이오드 및 2개의 FET는 차량의 전압과 본 모듈의 전압차이에 따라 전류의 흐름을 제어한다. 즉, 모듈의 전압이 높을 때는 모듈의 전류가 다이오드를 통하여 항상 차량의 회로에 공급된다. 그러나 모듈의 전압이 낮을 때는 모듈내의 캐패시터들을 충전하기 위하여 차량의 전류를 모듈내로 흐를 수 있게 한다. 이때는 차량의 전압에 따라 모듈로 흐르는 전류를 제어한다. 차량의 전압이 충분히 높지 않을 경우에는 전류를 흐르지 않도록 2개의 FET스위치를 OFF시키고, 차량의 전압이 충분히 높을 경우에는 그들을 ON 시켜서 전류가 모듈로 흐르게 한다. 이때에 차량의 전압과 모듈의 전압 차가 매우 크면 과도하게 흐르는 것을 방지하기 위하여 저항을 통하여 흐르게 한다.

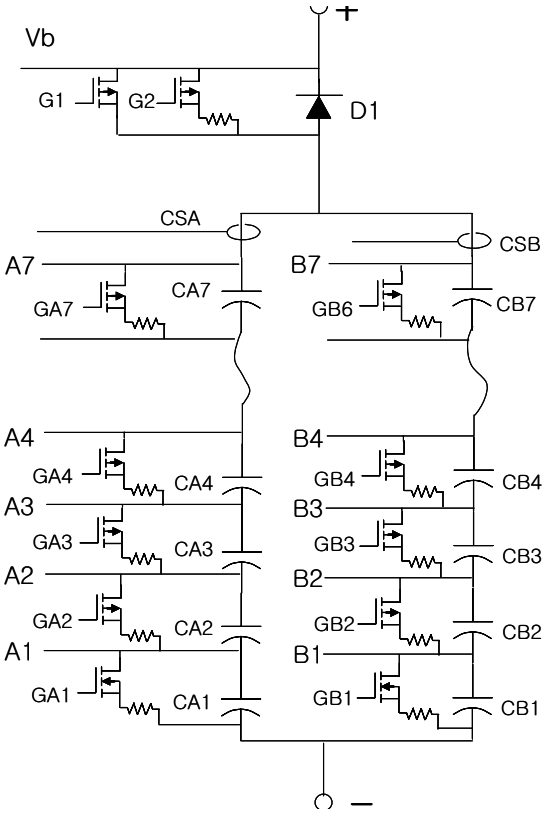

Fig. 4 Arrangement of supercapacitor array circuit

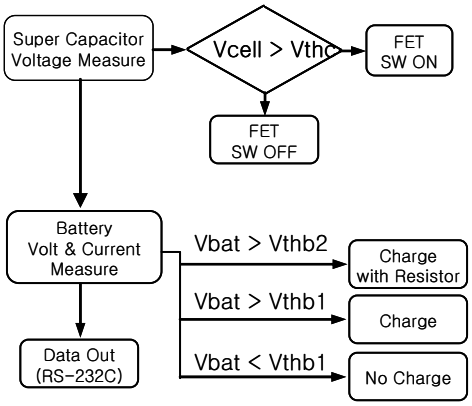

Fig. 5 Control flow of voltage stabilizer

각각의 슈퍼캐패시터들을 보호하기 위하여 기준전압 이상으로 캐패시터의 전압이 높아지는 것을 방지하기 위하여 밸런싱 동작을 하도록하였다. 즉, 각 셀의 전압을 측정하여 허용 전압 이상 올라 갔는가를 판별하여 만약 허용 전압 이상 오르게 되면 FET 스위치 회로를 동작시켜서 해당 셀을 지나 다음 셀로 전류가 이동하게 된다.

모듈내의 가각의 셀의 전압, 각 조의 전류 등의 신호는 측정되어 차량의 관리용 컴퓨터로 시리얼 통신을 사용하여 전송하게 된다.

3. 실 험

3.1 실험 방법

본 논문에서는 Fig. 6, 7과 같이 카니발(디젤) 차량에 본 논문에서 개발된 전원 보조 장치를 설치하고 성능 평가 실험을 진행 하였다. 실험 데이터를 얻기 위하여 Fig. 8과 같이 전류 프로브와 오실로스코프를 연결하였다. 그림과 같이 오실로스코프의 Ch1 : 차량 배터리의 전압, Ch 2 : 차량 배터리의 전류, Ch 3 : 전원 보조 장치에서 배터리 쪽으로 흐르는 전류, Ch 4 : 좌측의 7개의 캐패시터 중 제일 상위의 캐패시터의 전압을 측정하도록 연결하였다. 이때

Fig. 6 Overview of experiments

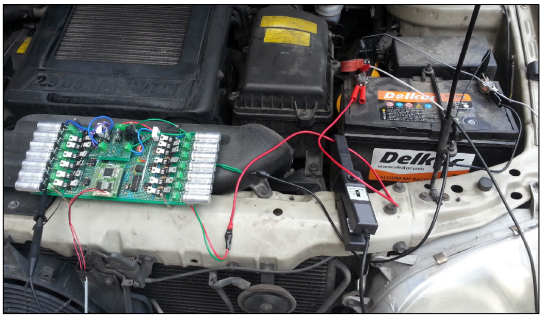

Fig. 7 Voltage stabilizer connected to the battery

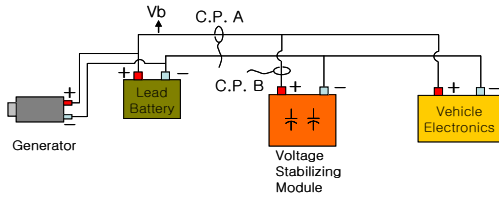

Fig. 8 Arrangement for experiment

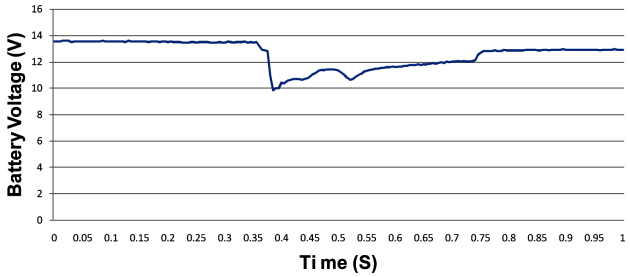

Fig. 9 Battery voltage variation when module off

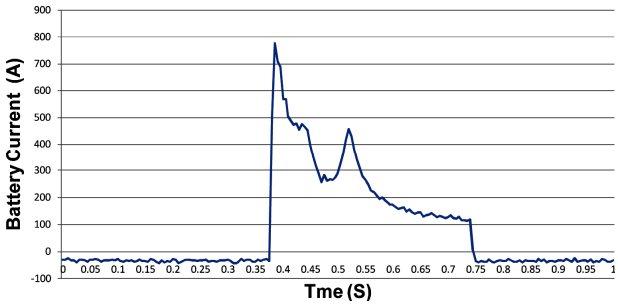

Fig. 10 Battery current variation when module off

차량 배터리의 전류 측정은 최대 측정 전류가 2000A인 프로브를 사용하고, 전원 보조 장치 모듈과 배터리 사이의 전류를 측정 하는 프로브는 최대 측정 전류가 100A인 제품을 이용하였다.

또한 개발된 전압 안정 장치 내부의 MCU에서 측정된 전압 신호는 RS-232 통신을 통해서 IBM-PC로 전송하도록 하였다.

차량에서 전압 변동은 시동을 걸 때 가장 큰 전류가 소비되는 점에 착안하여 전압 변동이 가장 클 것으로 생각되어 시동을 걸 때 데이터를 취득하였다. 개발된 전압 안정화 장치를 사용하지 않았을 경우에 얻은 데이터를 Fig. 9와 Fig. 10에 나타냈고, 전압 안정화 장치를 사용하였을 경우에 얻은 데이터를 Fig. 11-13에 나타내었다. 이 두 경우의 데이터를 비교하여 Table 3과 Fig. 14에 나타냈다.

3.2 실험 결과

3.2.1 전압 안정화 장치 모듈을 사용하지 않았을 경우

Fig. 9는 시동을 걸 때 시간에 따라 변화하는 차량 배터리 전압을 나타냈으며, Fig. 10은 이와 동시에 배터리에 흐르는 전류를 나타

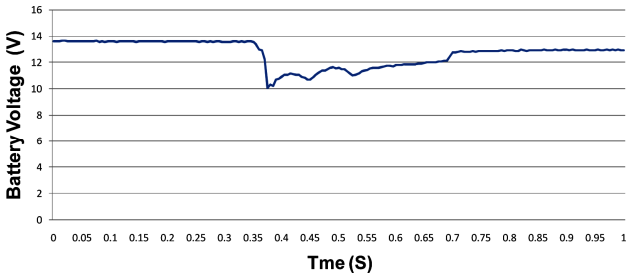

Fig. 11 Battery voltage variation when module on

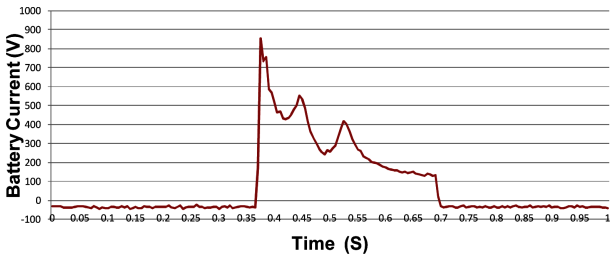

Fig. 12 Battery current variation when module on

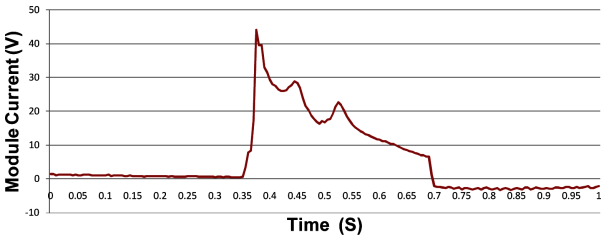

Fig. 13 Module current variation

낸 것이다. Fig. 9에서 보듯이 약 13.6 V 정도로 일정하던 전압이 0.25초 즉 시동 걸 때 급격하게 하강하여 9.9 V까지 된 것을 볼 수 있다. 또한 이때 전류는 780 A 정도로 급격하게 크게 증가한다. 이후에 제너레이타가 발전을 하기 때문에 전압은 서서히 증가하고, 배터리에서 흐르는 전류는 서서히 감소하며 약 0.75초 정도에서 전류 흐름이 멈춘 것을 볼 수 있다. Fig. 10에서 0.25초 이전과 0.75초 이후의 전류가 역 방향으로 흐르는 것으로 보이는 것은 사용하는 전류 프로브가 대 전류 측정용이기 때문에 전류 프로브의 오차에 기인한 것이다.

3.2.2 전압 안정화 장치 모듈을 사용할 경우

본 논문에서 개발된 전압 안정화 모듈을 사용하였을 경우의 차량 전압과 전류의 변화를 나타낸 Fig. 11, 12를 보면 전압 안정화 모듈을 사용하지 않았을 경우와 유사한 경향을 보인다.

Fig. 11에서 보듯이 전압은 13.7 V에서 10.1 V로 하강하는 것을 볼 수 있으며, Fig. 12에서 전류는 855 A정도 흐르는 것을 볼 수 있다. Fig. 13에 보인 모듈에 흐르는 건류를 보면 시동 거는 순간에 모듈로부터 44 A 정도가 차량으로 흘러 들어가는 것을 볼 수 있으며, 시동이 걸린 이후에 전류가 다시 모듈로 흐르는 것을

Table 3 Voltage drop comparison (V)

Experiment No.	Module ON	Module OFF
1	3.57	3.66
2	3.45	3.68
3	3.58	3.88
4	3.66	3.88
5	3.66	3.83
6	3.61	3.93
average	3.59	3.8

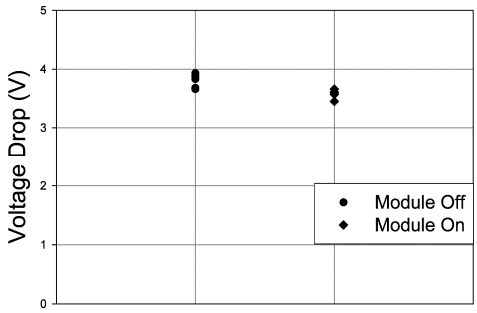

Fig. 14 Voltage drop comparison

볼 수 있다.

위의 두 경우에 대하여 6회 실험 한 결과를 비교하여 Table 3과 Fig. 14에 보였다. 평균적으로 전압 강하량은 모듈을 사용하지 않았을 경우 3.8 V이던 것이 모듈을 사용할 경우에는 3.59 V로 감소하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 최근에 많이 개발되어 있는 슈퍼캐패시터를 이용하여 차량에 전압이 변동되는 것을 완화시켜 줄 수 있는 전압 안정화 모듈을 개발하고, 이를 상용차량에 적용하여 실험하여 성능을 평가하였다. 슈퍼캐패시터들이 안전하게 동작할 수 있도록 충전 및 방전 회로를 개발하고, 차량의 전압 수준에 맞추어 동작 할 수 있도록 운용방법을 제안하여 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하였다.

실험 결과를 보면 개발된 장치가 적절히 동작되는 것을 알 수 있었다. 그러나 개선된 효과가 적은데 이는 사용된 슈퍼캐패시터의 용량이 실험에 사용한 대형 차량에 사용하기에는 작은 것에 기인한 것으로 생각되며, 최근에 개발되는 용량이 더욱 큰 슈퍼캐패시터를 사용하면 더 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

후 기

본 논문은 2013년도 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

References

[1] Burke, A., 2000, Ultracapacitors: Why, How, and Where is the Technology, Journal of Power Sources, 91:1 37-50.

[2] Jeong, J. U., Lee, H. D., Kim, C. S., Choi, H. S., Cho, B. H., 2002, A Development of an Energy Storage System for Hybrid Electric Vehicles using Supercapacitor, The 19th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, 1379-1389.

[3] Park, S. G., Yun, S. J., Kim, H. J., Yuk, Y. J., Jeong, K. W., 2013, Synthesis and Electrochemical Characterization of Porous Li4Ti5O12 Particles, The 7th Asian Conference on Electrochemical Power Sources, 98.

[4] Park, S. G., Ahn S. K., Jeong, K. W., Kim, H. J., Kim, H. I., 2013, Evaluation of Linear Carbon and Hybrid Metallic Materials for Lithium Ion Capacitor, The 7th Asian Conference on Electrochemical Power Sources, 14.

[5] Yoon, D. Y., 2004, AVR Atmega 128 Master, Ohm, Seoul, Korea.

[6] Atmel, 1982, Atmega 128 Data Sheet, Rev. 2467O-AVR-10/06, Atmel Coorp.

[7] Stout, D. F., Kaufman, M., 1976, Handbook of Operational Amplifier Circuit Design, McGraw-Hill Inc., New York.

[8] Coughlin, R. F., Driscoll, F. F., 1982, Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits, Prentice-hall, Inc., New Jersey.

[9] Rizzoni, G., 2007, Principles and Applications of Electrical Engineering, McGraw-Hill, New York.