

# 하이브리드 및 전기 자동차용 LDC 재생형 부하 시험기 설계

이춘일\*, 홍연찬  
¹인천대학교 전자공학과

## Design of a LDC Recycling Load Tester for Hybrid and Electric Vehicles

Choon-il Lee<sup>1\*</sup>, Yeon-Chan Hong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronics Engineering, Incheon National University

**요약** 하이브리드 자동차나 전기 자동차에 사용되는 LDC(Low Voltage DC-DC Converter)는 고전압 배터리 측의 높은 DC 전압을 입력 받아 낮은 전압인 12V로 강하시켜 전장부하 장치의 전원 공급 및 보조 배터리의 충전용으로 사용된다. LDC는 생산 공정 중에 장시간의 부하시험을 하는데 부하시험 시 전력을 100% 열로 방출하는 구조로 에너지 소비가 매우 큰 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 재생형 방식의 부하시험 방법을 제안하여 낭비되는 전력의 75~90%의 에너지 절감을 실현하였다.

**Abstract** The LDC (Low Voltage DC-DC Converter) used for hybrid vehicles and electric vehicles was utilized to supply the electric apparatus load with a voltage and to charge the auxiliary batteries by receiving a high DC voltage from the high voltage battery. The LDC has a long-time load test during the manufacturing process. On the other hand, it has the disadvantage of considerable energy consumption because it has the structure to release the power as 100% heat during a load test. Therefore, in this paper, a recycling load test method was proposed and 75~90% energy saving was realized.

**Key Words** : Electric vehicle, energy consumption, LDC, recycling load test

### 1. 서론

최근 환경문제와 고유가 문제로 인하여 친환경 자동차의 보급량이 급속하게 늘고 있다. 친환경 자동차로 대표되는 하이브리드 자동차나 전기 자동차에는 알터네이터(Alternator) 대신 LDC(Low Voltage DC-DC Converter)가 장착된다. LDC는 고전압 배터리로부터 유입되는 240~400V의 높은 직류 전압을 입력 받아 낮은 전압인 12V로 강하시켜 전장부하 장치의 전원 및 보조 배터리의 충전용으로 사용된다.

LDC는 자동차 전장품으로 전수검사를 실시하는데 전기적 신뢰성 테스트 공정 중 하나인 에이징(Aging)은 장

시간에 걸쳐 부하에서 전력대부분을 열로 소비하므로 전력소비가 매우 심하다. 이에 전력의 75~90%를 재생하여 사용하는 재생형 부하시험기를 제안한다.

재생형 부하시험기는 1990년대 말부터 연구가 이루어지기 시작하였으며, 주로 대 전력용 무정전 전원장치(UPS)의 부하시험 연구가 주를 이루었다[1-3]. 이는 UPS 특성상 수십~수백KW 높은 전력을 부하에 걸리면 부하장치의 부피가 크고 전력을 소비하는 부하에서 발생하는 열 또한 문제가 있었기 때문이다. 이에 전력계통에 전력을 보내는 방법이 대안으로 제시되었다. 하지만 전력계통에 많은 양의 전력을 보낼 경우 전압상승의 효과로 인하여 전원기기의 파손을 초래할 수 있다.

이 논문은 인천대학교 2013년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Choon-il Lee(Incheon National Univ.)

Tel: +82-32-765-7795 email: ciyil@naver.com

Received August 21, 2014

Revised (1st October 6, 2014, 2nd October 9, 2014)

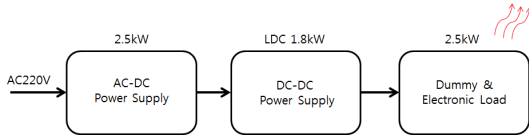
Accepted October 10, 2014

본 논문에서 제안하는 재생형 부하시험기는 전력계통에 전력을 보내지 않고 자체 내에서 회생할 방안을 제안하고자 한다[4]. 특히 LDC와 같이 양산되는 제품의 경우 최소 100개를 에이징할 경우 약 150~400KW의 전력이 지속적으로 열로 소비되어 이에 따른 문제가 크다.

## 2. 재생형 부하시험기 설계

### 2.1 일반적인 부하시험 구조

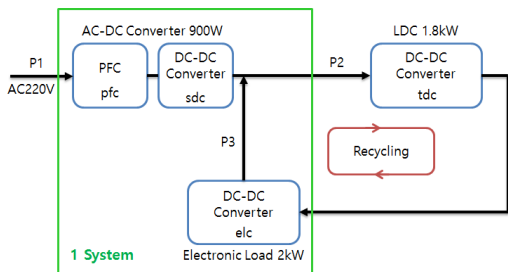
Fig. 1은 시료인 DC-DC 컨버터 및 LDC의 일반적인 부하시험 구조이다. 안정적인 동작을 위하여 입력에 시료보다 10% 이상 큰 용량의 전원공급기와 출력에 전자부하기를 사용하여 전기적 특성시험(Line Regulation, Load Regulation, Transient Response 등)과 장시간 에이징을 실시하는데 시료에 입력되어진 전력을 자체 전력 손실을 제외하고 저항 및 전자 부하기에서 100% 열로 소비한다.



[Fig. 1] General load test method

LDC는 부피가 큰 AC-DC power supply와 전자부하기 2대의 장비로 전기적 성능검사를 실시함에 따라 공간적인 문제가 발생하고 있으며, 전력을 열로 소비하는 구조로 인하여 발열에 의한 문제가 발생하고 있다. 특히 생산 공정에는 다수의 LDC가 24시간 자동화 공정을 통하여 생산됨에 따라 전력 손실도 크지만 발열에 의한 냉각 비용이 더 많이 발생하고 있다.

### 2.2 재생형 부하시험기의 구조



[Fig. 2] Structure of recycling load tester

재생형 부하시험기는 Fig. 2의 블록 부분인 AC-DC Converter와 전자부하기의 역할을 대신할 DC-DC Converter, 제어기가 하나의 시스템으로 구성된다[5,6]. 특히, 그림과 같이 폐회로 구성으로 인하여 각각의 모듈별 효율이 좋아야 높은 효율을 보이거나 어느 모듈 하나라도 효율이 좋지 못하면 전체 효율이 낮아지는 특성이 있다.

전력 효율을 결정하는 소비 전력비 P1/P2의 소비 전력비 공식은 다음과 같다.

$$P1/P2 = (1-\eta_{sdc}*\eta_{tdc}*\eta_{elc})/(\eta_{sdc}*\eta_{pfc}) \quad (1)$$

여기서  $\eta_{sdc}$ 는 AC-DC 컨버터의 DC-DC 스테이지(stage),  $\eta_{tdc}$ 는 테스트 시료인 LDC이고  $\eta_{elc}$ 는 재생형 전자부하기,  $\eta_{pfc}$ 는 역률개선 컨버터,  $\eta$ 는 각 스테이지의 효율을 나타낸다.

각각의 스테이지를 90% 효율로 가정할 경우 P1/P2 = 33.45% 즉  $\eta = 0.9$ 이며, 80% 효율로 가정할 경우 P1/P2 = 76.25이다. 이처럼 에너지 소비가 가장 큰 80~90% 범위에서 변환 효율이 약 24~67%의 에너지 절감을 제공한다.

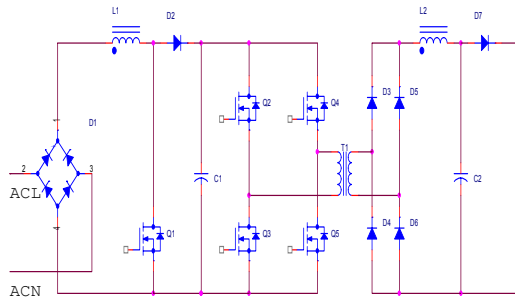
재생형 부하시험기의 소비 전력비는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P1/P3 = (1-\eta_{tdc}*\eta_{elc})/(\eta_{sdc}*\eta_{pfc}) \quad (2)$$

위와 같이 각각의 스테이지를 90% 효율로 가정할 경우 P1/P3 = 23.45 즉  $\eta = 0.9$ 이며, 80% 효율로 가정할 경우 P1/P3 = 56.25이다. 때문에 80~90%의 변환 효율에서 약 44~77%의 에너지 절감이 가능하다.

### 2.3 AC-DC Converter 설계

재생형 부하시험기의 AC-DC Converter는 기동 전력과 폐회로 구성에 따른 LDC 및 전자부하기 DC-DC 컨버터에서 발열로 인한 자체 손실되는 전력을 보충하는 역할로 큰 용량이 필요치 않아 시료의 50%정도의 용량인 900W로 설계하였다. 실제 계산에 의한 용량은 500W 미만이나 각 모듈의 효율 변동을 감안하여 여분을 충분히 주었다.



[Fig. 3] Circuit of AC-DC Converter

AC-DC Converter는 PFC와 DC-DC 스테이지 2단으로 구성되었으며, 효율 측면에서 유리한 공진형으로 설계하였다. PFC stage는 역률과 하모닉 성분을 감소시키기 위하여 ST사의 L4981을 Active boost PFC CCM type으로 사용하였고 DC-DC stage는 위상천이(Phase shift full bridge) 방식으로 설계하였으며 제어기로는 TI사의 UCC3895를 사용하였다.

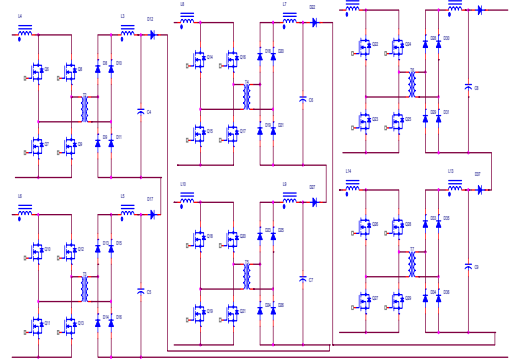
동작은 입력 단에서 들어오는 220Vac를 PFC단에서 380Vdc로 승압시켜 DC-DC 컨버터로 보내져 300Vdc 정전압 출력이 되도록 한다. 이때 스위칭 주파수는 50kHz이다.

[Table 1] Specification of AC-DC Converter

Division	Electrical Characteristic	Etc
Input Voltage	220Vac	
Input Factor	98% over	Full Load
THD	10% under	Full Load
Output Voltage	200~400Vdc	
Output Current	0~4.5Adc	
Efficiency	92% over	Full Load

2.4 전자부하기 DC-DC Converter 설계

전자부하기 역할을 담당하는 DC-DC 컨버터는 LDC의 출력에서 나오는 12V의 저전압을 AC-DC Converter의 추종 출력 전압인 300V 고전압으로 변환하여 폐회로가 구성되도록 한다. 전자부하기인 DC-DC 컨버터 역시 LDC의 손실분 10%를 감안하여 설계하면 1.6kW이지만 마진과 안정성을 감안하여 본 논문에서는 2kW로 구현하였다.



[Fig. 4] Circuit of DC-DC Converter

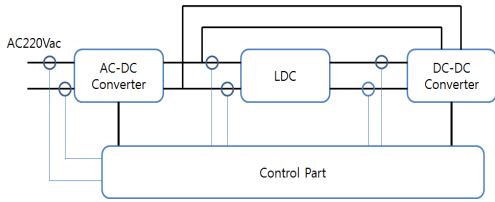
전자부하기 DC-DC 컨버터도 위상천이 풀 브리지(Phase Shift Full Bridge) 방식으로 설계하였다. 동작은 시료인 LDC에서 출력되는 12Vdc 전압을 300Vdc로 승압하여 AC-DC Converter의 출력과 동일하게 맞추어 주는데 낮은 전압을 급격하게 고전압으로 올릴 경우 안정성에 문제가 발생한다. 이에 본 논문에서는 6단을 직렬 연결하는 것으로 회로를 설계하였다. 그러므로 1단에서 부담하는 최대 전압은 66.7Vdc가 된다. 전자부하기 DC-DC 컨버터도 앞과 같이 스위칭 주파수는 50kHz이다.

[Table 2] Specification of DC-DC Converter

Division	Electrical Characteristic	Etc
Input Voltage	0~20Vdc	
Input Current	0~150Adc	
Output Voltage	200~400Vdc	
Output Current	0~9Adc	
Efficiency	85% over	Full Load

2.5 제어부

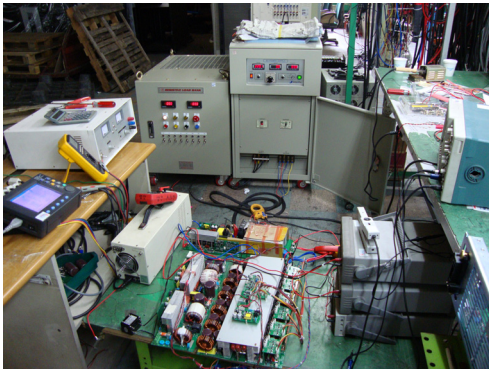
제어기는 각 모듈별 제어를 통하여 설정 값으로 동작하도록 하였으며, AC-DC Converter의 입출력 전압과 전류, LDC의 출력 전압과 전류를 감지하여 전자부하기인 DC-DC 컨버터 출력이 AC-DC Converter의 출력 전압에 항상 추종하도록 하였다. 제어부의 구현은 Atmega128을 사용하였다.



[Fig. 5] Block diagram of control part

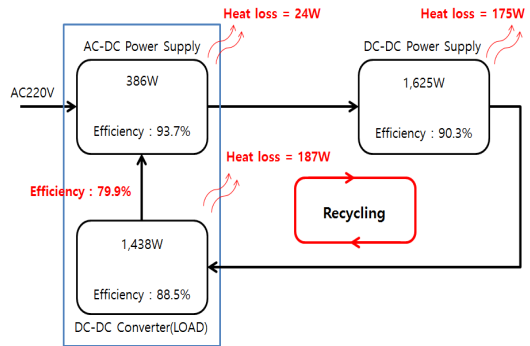
2.6 측정

우선 각 모듈별 전기적 특성을 측정한 후 폐회로를 구성하여 전체 효율을 측정하여 실제 소비되는 전력량을 구하는 것으로 하였다.



[Fig. 6] Photograph LDC recycling load tester

팔 표시하였는데 이 그림을 통하여 AC-DC 컨버터의 실제 사용 전력은 손실분을 포함한 410W의 용량이 필요하나 본 논문에서 제작한 AC-DC 컨버터 설계 용량은 2배 크게 설계되었음을 확인할 수 있다. 전자부하기 DC-DC 컨버터는 1.625W로 제작된 2kW 전자부하기 용량의 81% 용량에 해당한다.



[Fig. 7] Loss rate according to measured values at each module's input and output

풀 부하시 AC-DC 컨버터에서 손실분을 포함한 410W만 지속적으로 공급을 해 주면 원활한 에이징 실험을 할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 각 모듈별 측정 효율을 표시하였으며, 손실은 열로 표시하였다. 또한 풀 부하시 사용되는 전력량을 일

Table 3은 AC-DC 컨버터의 전기적 특성을 측정한 것이고 Table 4는 전자부하기 DC-DC 컨버터의 전기적 특성을 측정한 데이터이다. P(AC)는 입력 전압과 전류의 값을 곱한 값이고 PF는 역률, THD(Total Harmonics distortion)는 왜율, DCV는 직류 출력전압, DCI는 직류 출력전류, P(DC)는 출력전압과 출력전류의 곱이다. 효율은 출력전력/입력전력\*100으로 표기하였다.

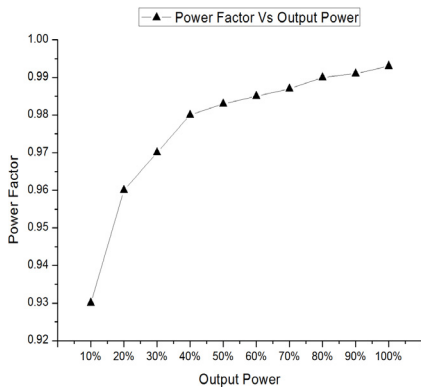
[Table 3] Experimental data AC-DC Converter

Output resistance	265.1Ω	192.4Ω	165.2Ω	149.6Ω	130.7Ω	118.7Ω	111.5Ω	105.4Ω	102.1Ω	97.5Ω
P(AC)	476(W)	589(W)	657(W)	701(W)	788(W)	861(W)	901(W)	935(W)	956(W)	965(W)
PF	0.960	0.970	0.980	0.980	0.980	0.980	0.990	0.991	0.993	0.994
THD	12.9%	10.6%	9.8%	8.7%	7.6%	6.9%	6.0%	5.4%	4.9%	4.6%
DCV	299.82(V)	299.92(V)	300.02(V)	300.32(V)	300.33(V)	300.43(V)	300.38(V)	300.35(V)	300.36(V)	300.40(V)
DCI	1.134(A)	1.563(A)	1.824(A)	2.015(A)	2.306(A)	2.555(A)	2.709(A)	2.877(A)	2.970(A)	3.010(A)
P(DC)	340.00W	468.77W	547.24W	605.14W	692.56W	767.60W	813.73W	864.11W	892.07W	904.20W
Efficiency	71.4%	79.6%	83.3%	86.3%	87.9%	89.2%	90.3%	92.4%	93.3%	93.7%

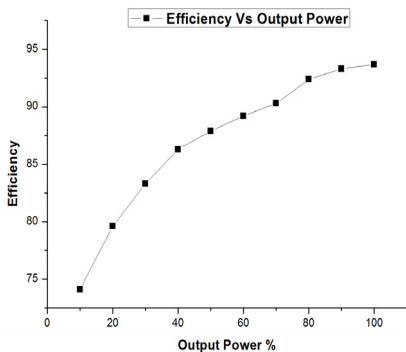
[Table 4] Experimental data DC-DC Converter

	1385(W)	1473(W)	1526(W)	1572(W)	1598(W)	1627(W)	1663(W)	1669(W)	1677(W)	1683(W)
P(AC)	1385(W)	1473(W)	1526(W)	1572(W)	1598(W)	1627(W)	1663(W)	1669(W)	1677(W)	1683(W)
DCV	11.98(V)	11.99(V)	12.03(V)	12.02(V)	12.04(V)	12.09(V)	12.18(V)	12.21(V)	12.23(V)	12.31(V)
DCI	89.230(A)	97.140(A)	102.860(A)	109.205(A)	112.550(A)	115.320(A)	118.520(A)	120.010(A)	120.780(A)	121.010(A)
P(DC)	1068.98W	1164.71W	1237.41W	1312.64W	1355.10W	1394.22W	1443.57W	1465.32W	1477.14W	1489.63W
Efficiency	77.2%	79.1%	81.1%	83.5%	84.8%	85.7%	86.8%	87.8%	88.1%	88.5%

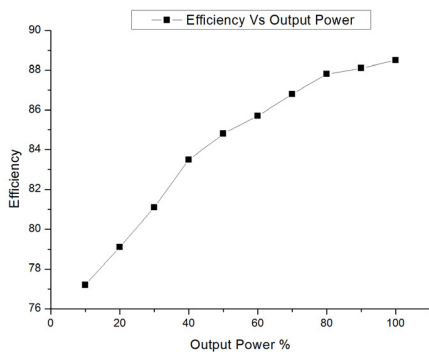
Fig. 8은 재생형 부하시험기의 주요 파형과 결과를 도  
시한 것이다. (a)는 AC-DC 컨버터의 역률, (b)는 효율,  
(c)는 전자부하기인 DC-DC 컨버터의 효율 그래프이며,  
THD가 4.6%로 매우 안정적인 동작을 보였다.



(a)



(b)



(c)

[Fig. 8] Experimental results of recycling load tester  
(a) AC-DC Converter Power factor (b) AC-DC  
Converter Efficiency (c) DC-DC Converter  
Efficiency

## 4. 결론

일반적인 부하시험으로 LDC 1.8kW를 시험했을 경우 소비전력은 2kW 이상이 소비되지만 본 논문에서 제안한 재생형 부하시험기의 경우 386W의 전력 소비가 발생하여 약 78.6%의 에너지 절약이 가능하며, 총 전력소비 측면을 고려하면 일반적인 부하시험 대비 20% 이하의 소비가 발생한다. 또한 발열이 작아서 냉각 비용을 크게 낮출 수 있다.

본 논문에서 설계한 재생형 부하시험기는 AC-DC 컨버터에서 93.7%, DC-DC 컨버터(부하 시)에서 88.5%의 효율을 나타내어 종합 효율 82.9%의 효율 특성을 보인다.

## References

- [1] Imoto Yoshihiro, "Load Device", Japan Patent Publication No. 09-325823, 1997.
- [2] Carlos Augusto Ayres and Ivo Barbi, "Power Recycler for Power Supplies Burn-in Test Design and Experimentation" *EFEI-Itajuba-MG-Brazil*, p.3-7 Mar. 1996.
- [3] Ming-Tsung Tsai and Charles Tsai, "Energy Recycling for Electrical AC Power Source Burn-in Test" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 47, no. 4, Aug. 2000.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/41.857979>
- [4] Intepro System, "DC/DC Burn-in Test Systems", 2006.
- [5] Andrzej M. Trznhadlowski, "Introduction to Modern Power Electronics", Hanbitmidieo, p.441-488, 2011.
- [6] Kim Huijun, "The basic design of switching power", Seongandang, 2010.

이 춘 일(Choon-il Lee)

[정회원]



- 2012년 8월 : 인천대학교 정보기술 대학원 전자공학전공 (공학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 공과대학원 전자공학과 (공학박사 과정 재학)
- 2003년 3월 ~ 2011년 5월 : (주)디지탈전자 책임연구원
- 2011년 8월 ~ 현재 : (주)이에스티 대표이사

<관심분야>

에너지분야, 전력전자, 전자제어

홍 연 찬(Yeon-Chan Hong)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 1992년 2월 : 순천향대학교 전자공학과 전임강사

- 1992년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

지능제어, RFID, 전력전자