

태양광 발전 겸용 유틸리티카 컨트롤러

김태엽°, 안호균, 박승규
 창원대학교 전기공학과

Utility Car Controller Combined Photovoltaic

Tae-Yeop Kim°, Ho-kun Ahn, Sueng-Kyu Park
 Dept. of Electrical Engineering Changwon national Univ.

Abstract - This paper describes on the development of Controller for the Utility Car combined photovoltaic. The Utility Car is generally composed of Controller, separately excited DC motor, battery and potbox. According to using battery, Utility Car have the problem of small operation time. So operating time is expanded by using parallel operating solar cell and battery.

1. 서론

환경오염 특히 자동차에서 배출되는 배기가스 및 소음으로 인하여 인간 생활에 적지 않은 피해를 주고 있고, 사회적 문제로 대두되고 있다. 자동차 공해로 인한 폐해의 증가와 멀지 않은 장래에 내연 기관 자동차의 에너지원인 석유 자원의 고갈이 예상되기 때문에 여러 나라에서 입법화 또는 정부 정책으로 전기 자동차에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다.

유틸리티 카는 배터리를 사용하는 소형 전기 자동차 중의 한 종류로서 사람의 이동 및 물건의 운반 등 다목적 용도로 배기가스와 소음이 없다는 장점을 가지고 있으며 산업현장이나 레저시설 등에서 사용이 꾸준히 늘고 있다. 하지만, 배터리 용량의 제한으로 잦은 충전이 필요하고 충전시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위한 한 방법으로 태양전지의 출력을 DC-DC 컨버터를 이용하여 배터리와 병렬운전 시킴으로써 사용시간 및 운행거리를 최대화하는 것을 목적으로 한다.

2. 태양광 발전 겸용 유틸리티카 컨트롤러

태양광발전 겸용 유틸리티카 컨트롤러는 타여자 직류 전동기 구동부, 태양전지와 배터리부분을 연결하는 DC-DC 컨버터부분으로 구성되며 그림 1은 태양광 발전 겸용 유틸리티카 시스템 구성도 이다.

2.1 전동기 구동부

일반적으로 유틸리티 카용 컨트롤러는 신뢰성, 안정성, 효율, 가격 등이 요구 사항으로 결정된다.

첫 번째로 신뢰성 문제에서는 차량의 무게 변화, 기동

시, 오르막 등반, 내리막길 주행 시 부하의 변화에 능동적으로 컨트롤러가 대처해야 하며, 언덕 등반 시 뒷 돌발적인 경우에 발생하는 과부하에 대하여 배터리의 출력과 모터의 정격을 고려하여 과다한 출력 전류에 의한 배터리의 소손, 수명 감소와 모터의 소손, 온도 상승 등을 방지하기 위해 최대 출력 점으로 제한되어야 한다.

두 번째로 안정성 문제에서는 지속적인 과부하에 대해 컨트롤러의 출력을 감소시켜 컨트롤러가 보호되어야 하고, 사용자의 부주의 및 예기치 못한 상황 발생 시 사용자의 안전 문제를 잘 고려해야 한다.

세 번째로 효율 문제에서는 한 번 충전으로 주행 거리를 늘리기 위해서는 과다한 출력을 피하고, 차량의 무게와 마찰력을 감소시키고 컨트롤러 및 모터의 효율을 높여야 한다.

마지막으로 가격 문제에서는 환경오염이 없고 소음이 없는 장점에 비해서 가격이 너무 비싸면 안되며, 유지보수비도 적어야 한다.

컨트롤러는 크게 아날로그 방식과 디지털 방식으로 나뉘어지는데 본 논문에서는 마이크로 프로세서를 이용하여 디지털 방식으로 개발을 하였다. 아날로그 방식은 가격이 저렴하나 온도 변화와 노이즈에 민감하며 사용자의 요구에 따른 다양한 시스템의 변경이 어렵다. 마이크로 프로세서(80C196KC)를 이용한 디지털 방식은 아날로그 그 방식에 비하여 가격이 상승하나, 장점으로는 온도 변화 및 노이즈에 강인하며 고성능 제어가 가능하고, 주변 장치와의 인터페이스가 쉬워 시스템의 확장이 용의하며, 사용자의 요구사항에 따른 시스템의 성능 변경이 소프트웨어적으로 처리가 가능하며, 컨트롤러가 소형화된다.

유틸리티 카는 배터리, 컨트롤러, 타여자 DC 모터, 솔레노이드 릴레이, 포트 박스 외에도 주 스위치, 전·후진 스위치, 키 스위치, 백 부저, 충전 소켓, 전압 표시기 등으로 구성되어 있다. 그림 2은 유틸리티 카 전체 시스템 구성도 이다.

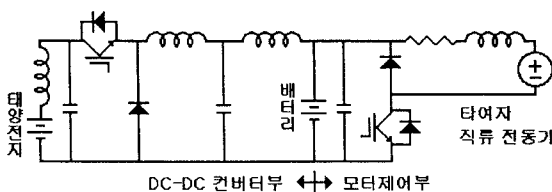


그림 1 태양광 발전 겸용 유틸리티카 시스템 구성도

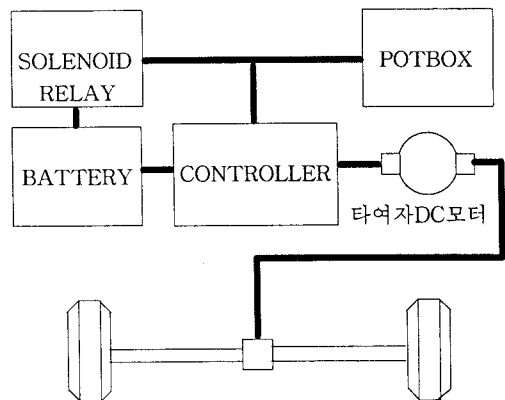


그림 2 유틸리티 카 전체 시스템 구성도

2.1.1 계자제어부와 미끄럼 방지부

유틸리티카의 구동을 위해서 일반적으로 타여자 직류 전동기를 많이 사용하고 있으며, 속도 센서와 전류센서를 사용하지 않는다. 전동기의 전기자 전류를 제한하고 토크와 속도를 제어하기 위해 계자전류를 변화시킨다. 전류센서를 사용하지 않고 전기자 전류를 추정하는 방법은 MOSFET의 전압강하를 개환하여 제어하거나 배터리의 전압강하를 감시하여 계자전류를 제어한다.〔〕 본문에서는 후자의 방식을 선택하였다.

계자 전류 제어 알고리즘은 식(1)으로 나타내어지며, 배터리의 기준전압을 차량의 출발시점마다 새롭게 설정하고 배터리 전압강하(V_{drop})와 비례 이득(K), 전기자 축의 PWM 듀티비(Duty_{전기자})를 곱하고, 계자축의 최저 PWM 듀티비(Duty_{계자최소}) 더하여 계자축 PWM 듀티비(Duty_{계자})를 설정한다. 하지만 차량이 큰 관성체이며 트랜스미션의 백러쉬 현상 때문에 계자전류가 진동하게 되며 차량이 진동하게 된다. 이를 방지하기 위해서 듀티의 변화폭을 제한하여야 한다.

$$Duty_{계자} = K * V_{drop} * Duty_{전기자} + Duty_{계자최소} \quad (1)$$

차량의 기동시와 내리막길 주행시에는 계자축 PWM 듀티비를 15%증가시켜 기동전류의 감소와 내리막길주행최대 속력을 18Km/h로 제한할 수 있다. 차량의 후진시 최대속도를 12Km/h이하로 제한하기 위해서는 전기자 축을 최대로 여자한다. 만일 전기자축 PWM 듀티비를 조절하는 경우 내리막에서 최대속도 제한이 되지 않는다.

운전자 보호를 위해 경사길에서 차량의 미끄럼 방지를 위하여 차량의 정지를 검출하고 제어주기(10ms)마다 계자축을 정·역 방향으로 번갈아 여자시켜 전기자축에서 발생하는 전압을 감시하여 차량의 미끄러짐을 검출하고, 계자를 현재 차량의 진행방향과 반대방향으로 여자를 시킴으로써 전기적인 브레이킹을 한다.

2.1.2 전기자 제어부

차량의 속도를 제어하기 위해서 액셀레이터의 입력을 아날로그필터와 디지털필터를 이용하여 필터링하며 급출발을 방지하기 위해 입력신호에 대한 S자 형태의 경사 신호 발생부를 사용하였다. PWM 버퍼부분은 CPU의 오동작 경우를 대비하여 LOW active로 설계되었다.

전기자축 스위칭 소자로는 MOSFET(IR1010N) 5개를 병렬로 사용하고 병렬운전 사용률을 90%가정하여 최대전류를378A(25℃)로 설계하였다.

2.2 DC-DC 컨버터부

태양전지로부터 배터리로 연결하기 위해서는 태양전지의 최대 출력점 추종 제어(MPPT)와 전류제어 알고리즘이 필요하다.

2.2.1 최대 출력점 추종 알고리즘

태양전지의 출력은 일조조건이나 차량에 이동에 따른 태양전지와 태양의 각도에 따라 변화하게 된다.

최대출력점 추종 제어 알고리즘은 식 (2)로 나타낼수 있다.

$$I_{ref}(K+1) = I_{ref}(K) + M \frac{\Delta P}{\Delta I} \quad (2)$$

식(2)에서 I_{ref} 는 전류 제어기의 기준입력으로 사용되며 그림 2의 태양전지의 출력전류 변화량 ΔI_s 과 출력전력변화량 $\Delta P_s = \Delta(I_s * V_s)$ 의 비를 이용하여 최대 전력점을 추종하게 된다. M은 변화량을 결정하는 이득값이다.

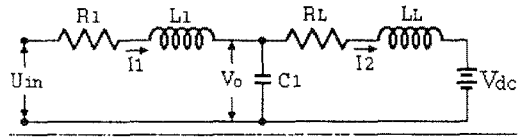


그림 3 DC-DC 컨버터부의 등가회로

2.2.2 전류제어 알고리즘

DC-DC 컨버터부의 등가회로는 그림 3로 모델링 되어진다. U_{in} 은 제어입력 $R1, L1$ 은 필터의 인덕턴스와 기생성분저항이고 RL, LL 은 필터출력부의 인덕턴스, 기생저항성분과 배터리 입력단의 저항성분이고 V_{dc} 는 배터리의 단자전압이다.

앞에서 설명한 DC-DC 컨버터의 전류제어 알고리즘으로 feedforward 보상기와 PI제어를 이용하였다.

식3은 feedforward 보상을 나타내었다. 그림2의 모델링으로부터 전달함수를 구하면 3차가 나오게 된다. 하지만 컨트롤러의 제어주기(800us)가 느리고 안정한 시스템이므로 과도상태를 무시하여 정상상태 성분만 고려하여 feedforward 보상을 설계하였다.

$$U_{in} = (R_1 + R_L)I_{ref} * V_{solar}/V_{dc} + V_{dc} \quad (3)$$

3. 모의실험 및 실험 결과

2장에서 제시한 유틸리티카 컨트롤러와 병렬운전용 DC-DC 컨버터를 모의 실험 및 실험을 하였다. 사용한 태양전지의 사양은 표1와 같으며 5개를 직렬로 사용하였다. 표2은 모의실험 및 실험에서 사용한 시스템 파라미터이다. 그림 3은 태양전지의 출력전류와 배터리측 입력전류를 모의실험한 결과이다.

표 2 사용한 태양전지의 사양

모델명	GMG 01530(LG)
Rated Power	53Wp
Open Circuit Voltage	21.7V
Short Circuit Current	3.35A
Max Operating Voltage	17.4V
Max Operating Current	3.05A

표 3 시스템 파라미터

모터 제어부		DC-DC 컨버터부	
모터 전압	36V	L_1	372.8 μ H
모터 용량	2.2KW	L_L	415.57 μ H
배터리	200Ah, 6V	R_1	608m Ω
계자전류	14A	R_L	836m Ω
		C	100 μ F

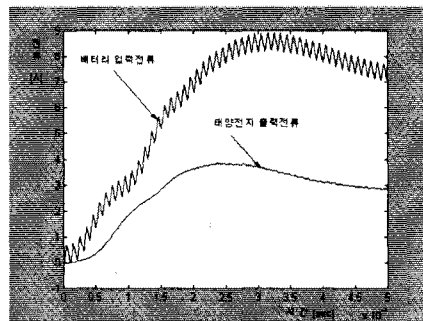


그림 4 태양전지 출력과 배터리 입력전류

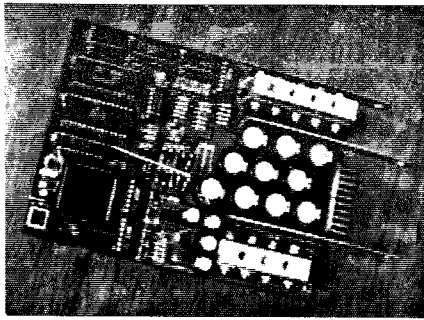


그림 5 제작된 컨트롤러 사진

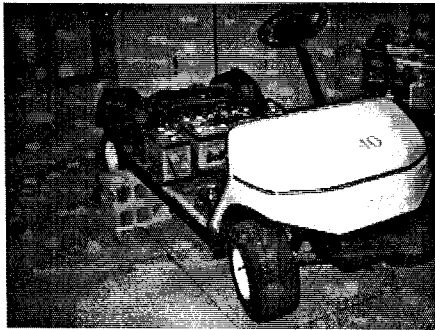


그림 6 실험에 사용된 유틸리티 카 사진

그림 5는 제작한 컨트롤러의 사진이다.
크기: 가로 165 [mm] × 세로 121[mm]
무게: 1.1 [kg]

그림 6은 실험에 사용한 유틸리티카의 사진이다.

그림 7은 차량의 정지시점에서 미끄러짐을 방지하기 위해 인가하는 계자전류파형을 보여준다.

그림 8은 차량이 미끄러졌을 경우 전기적 브레이크 구간에서의 계자 전류와 전기자 전류파형이다.

그림 9는 약 10°의 언덕에서 차량의 기동시의 엑셀레이터를 최대로 밟았을 경우에 계자 전류의 파형과 전기자 전류의 파형을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서 제작된 컨트롤러는 다음과 같은 특징을 가진다.

첫째, 스위칭 주파수가 가청 주파수 대역을 벗어나므로 소음이 없다. 둘째, 전력 손실이 적은 스위칭 소자 MOSFET를 사용했고, 스위칭 기법은 PWM을 사용했다. 셋째, 스위칭 소자를 5개 병렬 구성을 하여 주위 온도가 100 [°C] 일 때 최대 허용 전류는 275 [A]로서 컨트롤러의 구성을 소형화하였다. 넷째, 마이크로프로세서를 이용하여 새로운 기능 추가가 아날로그 방식보다 용이하다. 다섯째, 운전자가 좌석을 이탈했을 때나 경사진 곳에서 사용자가 운전을 하지 못하는 경우에 차가 미끄러져 내려가지 않도록 했다.(미끄럼 방지 기능) 여섯째, 전진 시 시속 20 [km]를 넘지 않도록 했으며, 후진 시에는 전진 시의 50 [%]로 제한하였다. 일곱째, 출발 시 엑셀레이터를 다 밟았을 때 서서히 속도가 증가하도록 하였기 때문에 부드러운 출발이 되도록 했다. 배터리 전압이 과, 저전압이 걸릴 때 검출하는 기능을 사용했으며, 후진 시 부저를 사용하여 경고음이 나오도록 하였다. 배터리 내부 임피던스의 전압 강하를 검출하여 배터리 전압에 따른 계자 제어를 가능하게 했다.

차량과 태양전지와의 연계운전은 실험중이며 운행시간은 10%정도 향상될 것으로 예상된다. 모터제어부에서 전류를 센싱하지 않고 속도지령치를 제어변수로 사용하

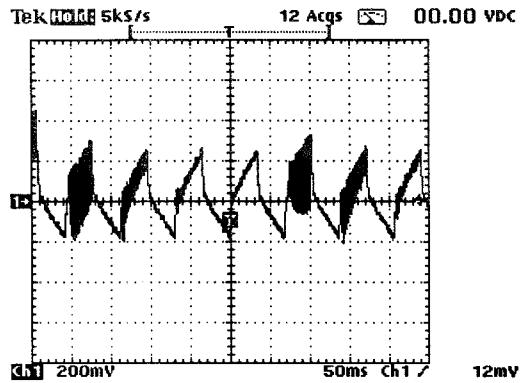


그림 7 미끄러짐 방지를 위한 정지시 계자전류파형

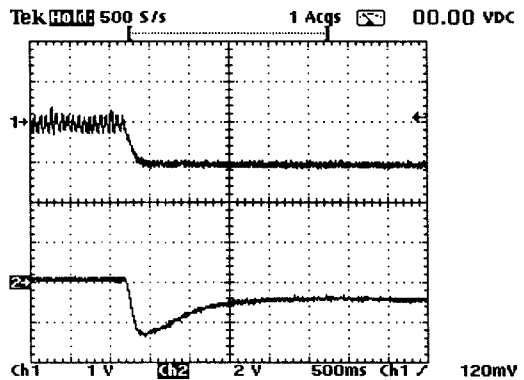


그림 8 차량의 전기적 브레이크시의 전류파형

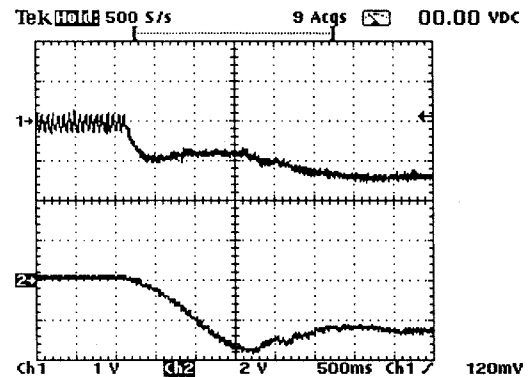


그림 9 10°의 언덕에서 차량의 기동시의 계자 전류와 전기자 전류의 파형

여 전류를 제어함으로써 정확한 전류제어가 힘들고 차량의 정토크 구간과 약계자제어 구간을 구분하여 제어하지 않기 때문에 차량의 효율이 많이 떨어지고 있다. 앞으로 이러한 점을 개선할 경우 차량운행시간을 20~30% 향상시킬 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. BURG, "Sensorless Velocity Control For The series Connected Wound Stator D.C. Motor", Mechatronics Vol. 5, No. 4, pp.349-364, 1995
- [2] P. Chevrel, "Robust DC-Motor Speed Control Without any Mechanical sensor", Proceedings International Conference 1997 IEEE ,10/05/97