

태양광 발전 겸용 유틸리티 차량용 컨트롤러의 개발

金 允 燁, 安 鎬 均

A Development Of Utility Vehicle Controller
With Photovoltaic Power System

Tae-Yeop Kim, Ho-Gyun Ahn

요 약

본 논문에서는 배터리를 사용하는 유틸리티 차량용 컨트롤러 개발과 태양광 발전을 병행하여 차량의 운행시간을 보완하였다. 유틸리티 차량용 컨트롤러는 다른 컨트롤러와 호환성을 유지하고 저가격, 고성능을 위해 마이크로 프로 세서를 이용하여 속도센서와 전류센서를 사용하지 않고 타여자 직류 전동기를 제어하였다. 태양광발전을 위해 DC-DC 컨버터를 이용하여 태양전지의 최대 전력점 추종 제어(MPPT)와 출력전류를 제어하여 태양전지와 배터리를 병렬운전하였다. 시스템의 타당성을 모의실험과 시제품의 실험을 통하여 검증하였다.

ABSTRACT

This paper describes the development of the utility vehicle controller using combination system of battery and photovoltaic power for increasing operation time. In order to keep interchangeability, low cost and high performance, a separately excited DC Motor is controlled without velocity and current measurements by μ -processor. For the parallel operation between the solar cell and battery, dc-dc converter is used, which is applied to the maximum power point tracking(MPPT) and current control algorithm. By the simulation and experimental results of trial product, the validity of the proposed system is verified.

Key Words : Utility Vehicle, Sensorless Velocity Control, Photovoltaic, MPPT Control

1. 서 론

환경오염 특히 자동차에서 배출되는 배기가스 및 소음은 인간 생활에 적지 않은 피해를 주고 있고 사회적 문제로 대두되고 있다. 자동차 공해로 인한 피해의 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 차량은 배터리를 사용하는 소형 전기 자동차 중의 한 종류로서 사람의 이동 및 물건의 운반 등 다목적 용도로 사용되며 배기가스와 소음이 없다는 장점을 가지고 있기 때문에 창고, 공항, 산업현장, 레저 시설 등에서 사용되며 국내외시장이 꾸준히 늘어나고 있다. 현재 국내 골프장에서 3300대, 산업현장에서 1만

대 이상이 사용되고 있으나, 사용전압이 36V로 외국에 비하여 언덕이나 산악지형이 많은 국내실정에 맞지 않아 변화를 필요로 하며 외국에서는 기동이나 등반성능이 우수한 48V 시스템으로 옮겨가고 있다. 유틸리티 차량은 배터리사용에 따른 용량의 제한으로 잦은 충전이 필요하고 충전시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 타 회사와 호환성^[1]을 유지하고 미국 표준규격^[2]과 특허^[3]에 만족하는 유틸리티 차량용 컨트롤러의 시작품을 제작하고 배터리 사용의 단점을 보완하기 위한 방법으로 태양전지의 출력을 DC-DC 컨버터를 이용하여 배터리와 병렬운전 시킴으로써 사용시간 및 운행거리를 향상시키는 것을 목적으로 한다.

2. 유틸리티 차량 시스템

유틸리티 차량용 컨트롤러는 차량의 무게 변화, 기동, 오르막 등반, 내리막길 주행 등의 부하변동에 능동적으로 대처해야 하며, 오르막 기동 및 돌발적인 경우에 발생하는 과부하에 대하여 과도한 출력 전류에 의한 배터리의 소손, 수명 감소, 운행거리 감소와 모터의 소손을 방지하기 위해 출력을 제한하여야 한다. 지속적인 과부하에 대해서는 컨트롤러의 출력을 감소시켜 온도상승에 의한 모터권선의 소손과 컨트롤러의 과열을 방지하여야 한다. 운행거리를 늘리기 위해서는 과도한 출력을 피하여 배터리의 손실을 줄이고, 차량 자체의 무게와 마찰력을 감소시키고 컨트롤러 및 모터의 효율을 높여야 한다.

탑승자의 승차감과 오르막 등반시 뒤로 미끄러짐 방지, 급출발 방지와 운행 도중의 전후진 기어변속 등의 사용자 부주의 및 예기치 못한 상황 발생 시 사용자의 안전 문제를 잘 고려해야 한다. 환경오염이 없고 소음이 없는 장점에 비해서 가격이 저렴해야 하며, 유지 보수비용이 적어야 한다.

현재 사용되는 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 방식에 비하여 가격이 상승하나, 온도 변화 및 노이즈에 강인하며 고성능 제어가 가능하고, 주변장치와의 인터페이스가 쉬워 시스템의 확장이 용의하며, 사용자의 요구사항에 따른 시스템의 성능 변경이 소프트웨어적으로 처리가 가능하다는 장점이 있다.

그림 1은 태양광 발전겸용 유틸리티 차량의 구성도이며, 구성은 태양전지, 배터리, 컨트롤러, 타여자 DC 모터, 트랜스 미션, 주접촉 릴레이(main contactor relay), 액셀레이터 포트 박스(accelerator potbox) 외에도 전원 스위치, 전·후진 스위치, 키 스위치, 백 부저, 충전 소켓, 전압 표시기 등으로 구성되어 있다.^[1]

2.1 전기자 제어부

차량 견인용 전동기용으로 고효율, 고출력 밀도의 특성을 갖는 영구자석형 전동기에 대해 많은 연구가 이루어지고 있으나, 유틸리티카의 구동을 위해서는 제어기가 쉽고 가격이 저렴한 타여자 직류전동기를 사용하고 있다. 타여자 직류전동기는 직류직권 전동기에 비하여 내리막길 주행시 쉽게 에너지가 전원측으로 회생

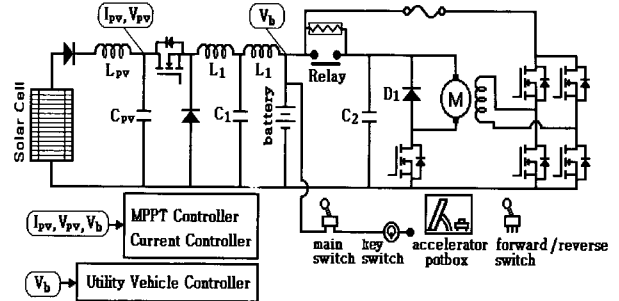


그림 1 개발한 유틸리티 controller의 구성도
Fig. 1 Configuration of developed utility controller

되는 장점을 가진다. 전동기의 사용영역은 차량의 부하변동에 따라 정격의 2~4배까지의 운전특성을 가지며 고속영역을 위해 약계자 운전영역에서 사용된다.

차량의 액셀레이터의 입력은 가속도, 속도지령치의 의미를 함축하고 있으며, 차량의 속도가 항상 지령치에 부합되는 것은 아니다. 논문에서는 부하가 전동기 정격 출력의 1.5배까지는 차량의 속도지령치에 속도를 추종시키고, 그 이상의 부분에서는 배터리 출력 전압 강하가 커지게 되므로 출력을 제한하기 위해 전류를 제어하여야 한다. 차량의 속도를 제어하기 위해 액셀레이터의 입력을 아날로그필터와 디지털필터를 이용하여 필터링하여 안정성을 높이고, 급출발 방지와 승차감을 향상시키기 위해 입력신호에 대한 S자 형태의 가속도 제한 신호를 발생하여 가속도를 제한하였으며, PWM 버퍼부분은 CPU의 리셋 및 오동작 경우를 대비하여 LOW active로 설계되었다.

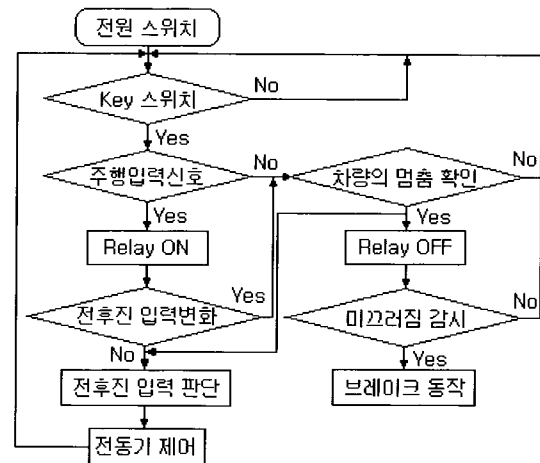


그림 2 차량동작 블록도
Fig. 2 Block diagram of vehicle operation

그림2는 차량동작에 관한 블록도이다. 전원이 들어 오고 키 스위치가 ON되면 컨트롤러가 동작을 시작한다. 액셀레이터 포트박스에서 주행 입력이 들어오면 주 접촉 릴레이로 연결되어 전원 커패시터에 소프트 충전하고 주행을 시작한다. 주행 중에 주행 입력이 들어오지 않으면 전동기의 역기전력을 감지하여 차량의 멈춤을 확인한 후 전원과 분리하고 미끄럼방지 기능을 수행한다. 릴레이를 사용함으로써 스위칭 소자 파괴시에도 전원과 전동기를 분리하여 탑승자의 보호가 가능한 잇점을 얻을 수 있다.

전동기의 4상한 운전을 위한 구동장치는 사용전류가 많은 전기자 측을 1상한 초퍼로 사용하고 계자 측을 H-bridge로 구성하여 사용하는 것이 유리하다. 스위칭 소자의 저 가격화와 소자의 도통손실을 저감하기 위해 전기자측 스위칭 소자로 MOSFET(IRF1010N) 5개를 병렬로 사용하고 병렬운전 사용률을 90%로 가정하여 최대전류를 378A(25°C)로 설계하였다. MOSFET의 병렬운전시에는 게이트 구동부, 전류 불균형, 온도 불균형, PCB 패턴에 주의를 하여야 한다.^[4,5]

2.2 계자 제어부

전동기의 속도와 전류를 제어하기 위해서 4상한 운전과 약계자제어를 하며 속도 센서와 전류센서를 사용하지 않는다.^[1,3] 전기자 전류를 추정하는 방법은 MOSFET의 전압강하를 케환하여 제어^[3]하거나 배터리의 전압강하를 감시하여 계자전류를 제어한다. 본 논문에서는 후자의 방식을 사용하고 있다. 그림 3은 유틸리티 차량의 제어기 구성도이다.

전기자 제어입력(U_a)는 액셀레이터입력(ω_{ref})을 2초

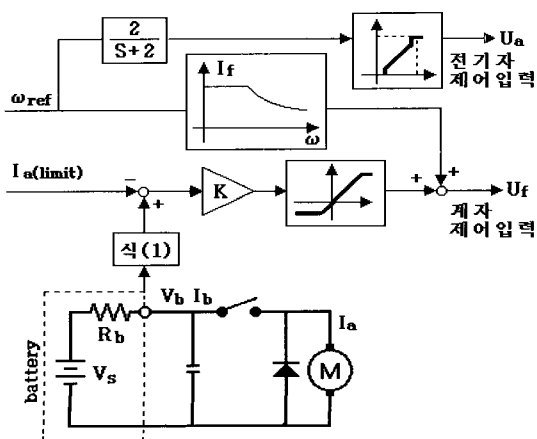


그림 3 유틸리티 차량의 제어기 구성도

Fig. 3 Block diagram of utility vehicle controller

의 시정수를 가지며 증가하여 차량의 급가속 및 과도 전류를 제한하며, 10%미만 및 90%이상의 경우 off 및 on상태로 사용하였다. 액셀레이터 입력(ω_{ref})이 인가되지 않으면 전기가 제어입력은 즉시 영으로 감소하며 계자전류는 계속적으로 인가하여 차량의 멈춤을 검출하게 된다.

전기자 전류 추정 알고리즘은 식(1)로 나타내어지며 배터리의 기준전압을 차량의 출발시점마다 새롭게 설정하여 배터리 사용에 따른 전압강하를 이용하게 된다. 배터리 출력전류를 제어에 이용함으로써 쉽게 배터리 보호와 시스템의 효율을 극대화 할 수 있다. 하지만, 실험을 통하여 측정된 배터리의 기생저항(R_b)가 출력전류의 크기에 따라 증가하며 및 배터리의 충전상태에 대하여 일정하지 않으므로 식(1)의 개루프(open loop)로 추정방식에서는 추종오차를 가지고 있어 정확한 전류제어를 할 수는 없다.

$$\hat{I}_a = \frac{V_s - V_b}{R_b} \times \frac{1}{\text{Duty}_{\text{전기자}}} \quad (1)$$

전기자 전류에 대한 계자전류의 보상은 P제어기 형태로만 구성되어 있으며, 속도지령치에 따른 계자전류와 더해져 계자 제어입력(U_a)으로 사용된다. 계자 전류 제어 알고리즘은 식(2)로 나타내어진다. 계자 지령치는 DC 전동기의 일정토크영역과 약계자 영역에서의 계자 전류의 최저치를 보장하는 상수이다.

$$U_f = K * (\hat{I}_a - I_{a(\text{limit})}) + \text{계자지령치} \quad (2)$$

이득(K)을 실험을 통하여 전기자 전류에 따라서 가변이득을 적용하여 차량의 운전동작영역을 결정하였다. 식(1)을 식(2)에 대입하여 사용하는 것을 고려하면 계자전류의 크기가 증가하는 경우 식(2)의 이득(K)을 크게 하면 배터리 기생저항변화에 대하여 부궤환 형태를 띠고 있음을 알 수 있다. 또한 차량이 큰 관성체이고 운전조건이 심하게 변화하며 계자 제어기가 배터리 전압강하에 대하여 의존적이기 때문에 전류제한을 위하여 이득(K)을 크게 할 경우 계자 전류가 진동하게 되어 차량이 진동하게 된다. 이를 방지하기 위하여 계자 전류 지령치의 변화폭에 대해 증가폭은 크게 감소폭은 작게 설정하였다. 이러한 이득(K)값은 차량의 승차감에 많은 영향을 주게되며 이득의 설정시 고려되어야 한다.

그림 4는 전기자와 계자 전류의 변화에 따른 전동기 효율을 측정된 결과를 그래프로 나타낸 것으로 식(2)를 이용하여 계자제어를 하는 경우 전기자 전류커지면

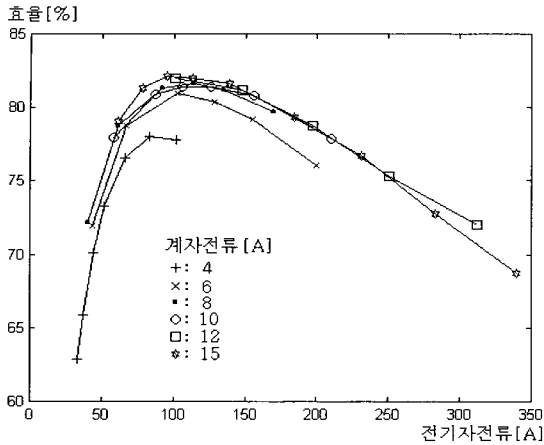


그림 4 전기자와 계자전류의 변화에 따른 전동기 효율
Fig. 4 The motor efficiency according to the variation of field and armature current

계자전류가 따라서 증가하여 적절한 효율을 얻을 수 있도록 계자전류가 제어됨을 알 수 있다.

평지 운행시 차량의 최대속도는 20Km/h이며 차량의 기동시와 내리막길 주행시에는 계자측 PWM 듀티비를 약 15% 증가시켜 기동전류의 감소와 내리막길주행 최대 속력을 18Km/h로 제한할 수 있다. 차량의 후진시 최대속도는 12Km/h이며 이를 제한하기 위해 계자측을 약 70% 증가하여 여자한다. 만일, 전기자측 PWM 듀티비를 조절하여 속도를 제어하는 경우 후진 내리막 운행시 최대속도를 제한하기 위하여 속도를 검출하고 전기적 제동을 하여야 함으로, 논문에서는 후진시에 계자전류를 증가시키는 방법을 사용하였다.

운전자 보호를 위하여 그림 2의 블록도에서의 역기 전력 검출을 통한 차량의 정지를 검출한 후 경사길에서 차량의 미끄러짐 방지를 위하여 제어주기(70ms)마다 계자를 정·역 방향으로 번갈아 여자시키고 전기자측의 역기전력을 감시하여 차량의 미끄러짐과 진행 방향을 검출하고, 검출시 계자를 현재 차량의 진행방향과 반대방향으로 여자 시킴으로써 전기적인 브레이킹을 보호를 위해 한다. 또한 차량의 진행 중에 전 후진 스위치가 변화하는 경우 급정지를 피하고 차량이 완전히 멈춘 후에 방향전환을 하도록 하였다.

3. DC-DC 컨버터부

태양전지로부터의 출력을 배터리로 연결하기 위해서는 DC-DC 컨버터(buck converter)를 사용하고 태양전지의 최대 출력점 추종 제어(MPPT)와 전류제어 알고

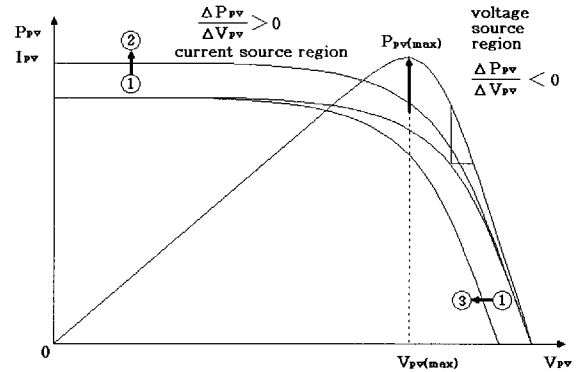


그림 5 태양전지의 특성곡선
Fig. 5 Solar array characteristic curve

리즘이 필요하게 된다.^[8,9,10] 태양전지의 최대출력은 일사량과 온도에 따라서 변화하며 차량의 이동에 따른 태양전지와 태양의 각도에도 영향을 받게 된다.

3.1 최대 출력점 추종 알고리즘

그림 5는 태양전지의 V-I, V-P 특성곡선이다. V-I 특성곡선은 일사량과 온도변화에 대하여 일사량이 증가하면 출력전류가 증가하여 ①선에서 ②선으로 변화하며, 온도가 증가하면 출력전압이 감소하여 ①선에서 ③선으로 변화하게 된다.^[10] 태양전지의 출력 ($P_{solar} = I_{solar} \times V_{solar}$)은 V-I특성곡선의 동작점에 따라서 변화하게 되며, 컨버터의 동작에 따라서 출력점이 결정되게 된다. 전지의 출력특성은 최대 출력점의 전압($V_{pv(max)}$)을 기준으로 전압원 영역(voltage source region)과 전류원 영역(current source region)으로 나누어지게 된다. V-P 특성곡선에서 태양전지 최대 출력점에서의 전압변동에 따른 출력의 변화율은 0이며 식(3)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} &> 0 \quad \text{current source region} \\ \frac{\Delta P_{solar}}{\Delta V_{solar}} &= 0 \quad \text{maximum power point} \\ &< 0 \quad \text{voltage source region} \end{aligned} \quad (3)$$

따라서, 최대 출력점 추종 제어의 목적은 식(3)의 변화율을 0으로 만드는 것이 되며, 전압형 전류제어 컨버터를 이용하여 태양전지의 동작점을 제어하게 된다.^[10]

이러한 기본적인 알고리즘은 2가지 문제점을 가지고 있다.^[9] 첫째 식(3)의 변화율이 구역내 최소값(local minimum)을 가지고 있는 경우이며, 둘째 전압원 영역과 전류원 영역에서의 변화율 절대값의 크기가 다르며, 특히 전류원 영역 기울기가 작다는데 있다.

실제 시스템에서 센서의 노이즈나 외란에 의해 식(3)의 변화율은 최대출력점이 아닌 위치에서 영이 되는 구역내 최소값(local minimum)이 존재할 수 있으며, 초기상태와 동작중 전압의 변화가 없는 경우에는 변화율을 알아낼 수가 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 제어변수 값을 5~10 주기 동안 누적하여 사용하고, 전압의 최소변화폭(|Δ|)을 설정하여 $\Delta V_{pv} < |\Delta|$ 경우 태양전지전압에 따라서 동작점을 전압원, 전류원 영역의 경계위치로 향하도록 제어입력을 결정하게 된다.

최대출력점 추종 제어 알고리즘은 식(4)로 나타낼 수 있다

$$I_{ref}(K) = I_{ref}(K-1) - M \operatorname{sgn}\left(\frac{\Delta P_{pv}}{\Delta V_{pv}}\right) \quad \text{if } \Delta V_{pv} > |\Delta| \quad (4)$$

$$I_{ref}(K) = I_{ref}(K-1) + M \operatorname{sgn}(V_{pv} - V_{pv(max)*}) \quad \text{if } \Delta V_{pv} < |\Delta|$$

단, $M > 0$ 이고 식(5)로 표현된다.

식(4)에서 기준 최대 출력점의 전압($V_{pv(max)*}$)은 임의의 상수로 평소 운전조건을 고려하여 태양전지의 최대출력점 부근의 전압으로 설정하여 사용한다.

식(4)에서 이득 값(M)이 전류지령치($I_{ref}(K)$)의 변화량을 결정하게 되며 큰 값을 사용하는 경우에는 최대 출력점 도달까지의 과도시간은 줄어들으나 최대출력점이 진동하게 되며 전류제어기의 속응성이 느린 경우 과도상태에서 전류오차가 커지고 정상상태에서도 오차를 지니게 된다. 이득 값이 작은 경우에는 과도상태가 길어지며 전압 변화폭이 적어지는 단점이 있다.

식(3)의 출력변화율은 전류원 영역과 전압원 영역이 기울기가 다르며 이득 값(M)을 같이 적용하기가 어렵게 된다. 특히, 전류원 영역에서 전류의 정상상태 오차가 있는 경우에는 DC-DC 컨버터 제어입력(적분기 사용)은 커지나 전류 출력은 증가하지 않으며 전류 지령치($I_{ref}(K)$)의 줄어드는 폭이 크지 않으면 계속적인 누적오차를 지니게 된다. 따라서 안정성 및 속응성을 향상시키기 위하여 'adaptive rule'을 적용하여 사용하였다.[9] 따라서 식(5)처럼 이득 값(M)을 태양전지의 전압에 따라서 가변하여 적용함으로써 문제점을 해결할 수 있다. 이러한 적용사례를 응용하여 식(5)로 가변이득을 설정하였다. 식(a)는 전류원 영역에서 적용되고 식(b)는 전압원 영역에서 적용된다. α 는 이득이고 β 는 이득의 최소값을 나타낸다.

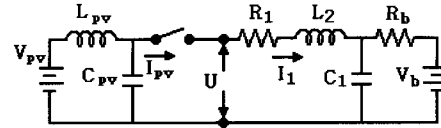


그림 6 DC-DC 컨버터의 등가회로
Fig. 6 Equivalent circuit of DC-DC converter

$$(a) M = \alpha_1 \times |V_{pv} - V_{pv(max)}| + \beta \quad \text{if } (V_{pv} - V_{pv(max)}) < 0$$

$$(b) M = \alpha_2 \times |V_{pv} - V_{pv(max)}| + \beta \quad \text{if } (V_{pv} - V_{pv(max)}) \geq 0 \quad (5)$$

단, $\alpha_1 \geq \alpha_2 > 0$ 고 $\beta > 0$ 이다.

3.2 전류제어 알고리즘

DC-DC 컨버터를 간략화한 등가회로는 그림6으로 나타내어진다. 선형제어입력(U), 필터의 인덕턴스($L_2 = L_1 + L_1$)를 합한 값, 필터의 기생저항성분과 스위칭 소자의 전압강하를 포함한 등가저항(R_1), 배터리 기생저항(R_b), 배터리의 단자전압(V_b), 태양전지 출력 필터(L_{pv} , C_{pv})로 구성되어진다.

제어의 목적은 태양전지출력전류를 제어함으로써 전지의 동작점이 최대 출력점에 있도록 하는 것이다. 즉, MPPT 알고리즘의 전류지령치(I_{pv}^*)와 전지의 출력전류(I_{pv})를 일치시키는 것이다. 전류제어 알고리즘으로는 PI제어기와 과도응답특성과 안정도를 향상시키기 위해 전향보상기(feedforward)를 구성하였다. 그림 6에서 입력(U)와 컨버터입력전류(I_1)에 대한 전달함수는 식(6)으로 표현된다.

$$U = (L_2 s + R_1)I_1 + \frac{R_b}{1 + R_b C s} I_1 + \frac{1}{1 + R_b C s} V_b \quad (6)$$

식(6)을 정상상태 성분만을 고려하고 입력전류(I_1)를 태양전지출력전류(I_{pv})로 환산하면 식(7)로 표현되고 전향보상기로 사용된다.

$$U_{in} = (R_1 + R_b)I_1 + V_b, \quad I_1 = I_{pv} \times \frac{V_{pv}}{V_b} \quad (7)$$

일반적으로 전력변환장치의 입력 직류전압을 고려하면 Duty 비와 제어 입력은 $Duty = U/V_{dc} = U/V_{pv}$ 이고 입력전압(V_{dc})이 태양전지전압(V_{pv})이므로 정제환의 특성을 지니게 된다. 특히, 그림 5의 전류원 영역에서 전류지령치(I_{pv}^*)가 일정하더라도 태양전지전압(V_{pv})이 감소하면 입력이 커지게 되고 전지의 전압이 다시 감소하게 된다. 이러한 점을 고려하면 전향보상기를 구성하면 식(8)로 나타낸다.

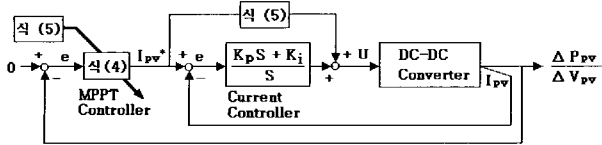


그림 7 MPPT 제어기와 전류제어기 구성
Fig. 7 Control block diagram of the PV control section

$$U_{in} = \left\{ (R_1 + R_b) \frac{V_{pv}}{V_b} I_{pv}^* + V_b \right\} \times \frac{V_{pv}}{V_{pv(max)}} \quad (8)$$

실험에서는 전향보상기에 초기값과 1차 필터를 직렬로 구성하여 사용하였다.

그림 7은 전류제어알고리즘과 최대전력점 추종알고리즘의 블록도이다. 앞에서 설명한 최대전력점 추종알고리즘과 전류제어 알고리즘으로 전향보상기와 PI제어를 이용하였다.

4. 모의 실험 및 실험 결과

2장에서 제시한 유틸리티 컨트롤러와 병렬운전용 DC-DC 컨버터를 모의 실험 및 실험을 통하여 타당성을 검증하였다. 표 1은 사용한 태양전지의 사양이다. 5개의 태양전지를 직렬로 사용하였으며 최대전압은 108.5V이고 최대 전력점의 전압은 68~78사이 존재하여야 한다. 최대 출력점의 전압($V_{pv(max)}$)은 75V로 설정하여 사용하였다. 표2는 모의실험 및 실험에서 사용한 시스템 파라미터이다.

표 1 사용한 태양전지의 사양
Table 1 Solar cell parameter

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
최대전력	263W

그림 8은 DC-DC 컨버터의 전류제어 알고리즘을 모의 실험한 결과이며 전류제어 알고리즘의 타당성을 보여주고 있다. 이때, 태양전지는 정 전압원(80V)으로 모델링하여 사용하였고 제어 주기는 500[μsec]이며 스위칭 주파수는 32[KHz]이다.

표 2 시스템 파라미터
Table 2 System parameter

모터 제어부		DC-DC 컨버터부	
모터 전압	36V	L_{pv}	372.8 μH
모터 용량	2.2KW	L_1	415.6 μH
배터리	200Ah, 36V	R_{pv}	608mΩ
계자전류	6~14A	R_1	836mΩ
전진속도	20Km/h	R_b	17.5~30mΩ
후진속도	12km/h	C_{pv}	200 μF
마찰계수	0.07	$V_{pv(max)}$	75V
차량무게	350Kg		

그림 9는 약 10°의 언덕에서 차량의 기동시의 엑셀레이터의 입력을 최대로 하였을 경우에 계자 전류의 파형과 전기자 전류의 파형을 보여주고 있다. 계자 전류 파형에서 앞의 부분에는 주행신호입력이 들어오지 않는 경우 차량의 미끄럼 방지를 위해 계자 전류를 70[msec]의 주기로 정·역 방향으로 여자시키고 있으며, 이때 계자전류의 크기는 2.5[A]이다.

그림 10은 언덕에서 차량이 뒤로 미끄러졌을 경우 전기적 브레이크 구간에서의 계자 전류와 전기자 전류 파형으로 계자전류가 전진방향으로 입력되고 있으며 전동기에서 발생된 전기자 전류는 다이오드(D1)을 통하여 환류(free-wheeling)되고 있음을 보여주고 있다.

그림 11은 태양전지의 최대전력점 추종제어와 DC-DC컨버터의 전류제어를 실험한 결과로 가변이득을 적용하여 빠른 응답특성과 안정적으로 동작하고 있음을 보여주고 있다.

그림 12는 최대 전력점 추종제어기 전압-전류, 전압-전력파형 곡선으로 태양전지의 운전점이 최대출력점 부근에서 운전되고 있음을 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 유틸리티 차량용 컨트롤러의 제작과 태양전지를 이용하여 차량의 운행시간 향상을 목적으로 하였다. 기존의 아날로그 컨트롤러를 타제품과의 호환성을 유지하며 디지털화하여 차량의 운전특성 변경이 용의하며, 제어의 정확도를 향상시켰다. 배터리의 전압을 이용하여 속도센서와 전류센서를 사용하지 않

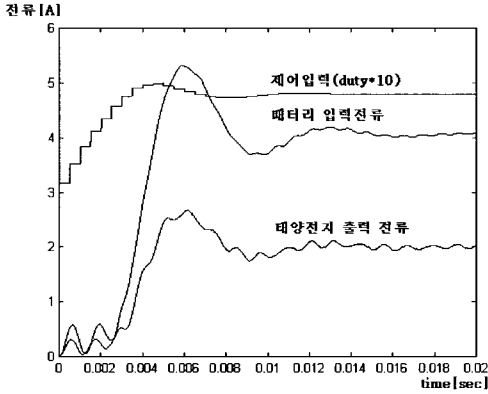


그림 8 DC-DC 컨버터 제어 알고리즘 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Simulation Result of DC-DC converter

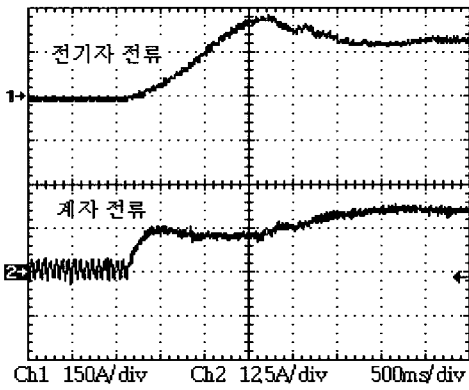


그림 9 언덕(10°)에서 차량의 기동시의 계자 전류와 전기자 전류의 파형
Fig. 9 Field and armature current at starting of inclined place

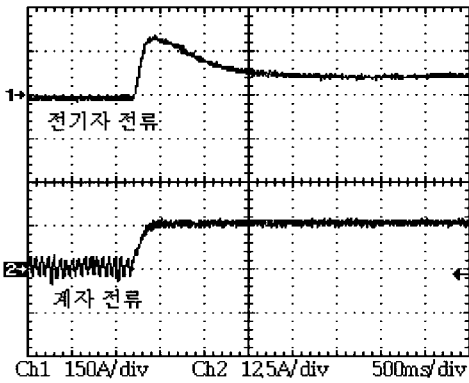


그림 10 차량의 전기적 브레이크시의 전류파형
Fig. 10 Current waveform at electrical breaking

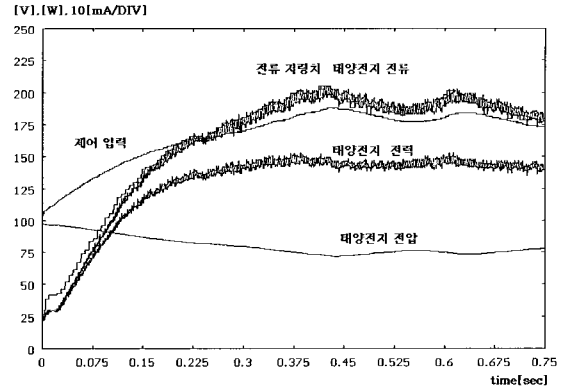


그림 11 태양전지의 최대 출력점 추종제어와 컨버터 전류 제어의 실험결과
Fig. 11 Experimental result of MPPT and current control

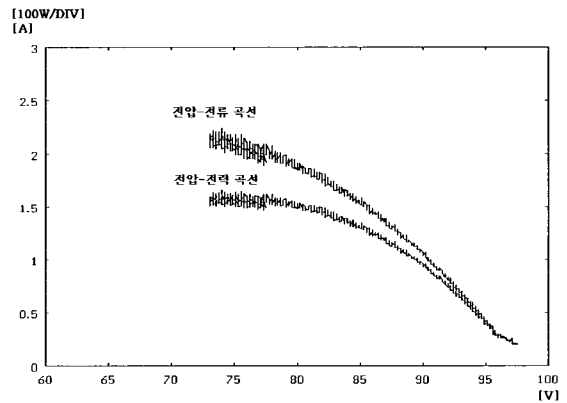


그림 12 최대 전력점 추종 제어시 전압-전류, 전압, 전력파형
Fig. 12 Voltage-current and voltage-power waveform of MPPT control

고 차량을 제어함으로써 컨트롤러를 저가격화 하였으며, 운전자의 안전을 위하여 전동기의 역기전력 검출을 통한 차량의 미끄럼 방지 알고리즘을 제시하였다. 가변이득을 적용한 태양전지의 최대 출력점 제어 알고리즘을 사용함으로써 제어기의 안정성을 향상 시켰으며, DC-DC 컨버터의 전류제어를 통하여 배터리와 병렬운전 하였다.

태양전지 사용에 따른 차량의 연속운전시 운행시간의 향상은 약 2~5% 정도이며, 태양전지의 평균출력 150W, 8시간 충전시 1.2kW의 전력이 발생하며, 배터리의 방전심도를 80%로 고려할 때 일일 운행시 약 20%의 운행시간 향상을 예상할 수 있다. 하지만 태양전지의 가격이 고가이기 때문에 아직은 상용화에는 어

려움이 있으나, 가격이 저렴해지는 경우 이러한 보조적 전원으로의 사용이 확대될 것으로 예상된다.

하지만 현재 사용되고 있는 유틸리티 차량은 사용전압이 낮으며, 중량 및 마찰력이 매우 커 많은 손실을 발생시키고 있다. 따라서 현시점에서의 시스템 전체 효율 및 운행시간의 향상을 위해서는 사용전압의 상승을 통한 전동기와 배터리의 손실감소 및 차량의 무게와 마찰력 감소의 연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Curtis Instruments, Inc., "Model 1204/5 Motor Controllers Manual", 1992.
- [2] National Golf Car Manufacturer Association, Inc. "For Golf Cars-Safety and performance Requirements", American National Standard, ANSI Z130.1.1992
- [3] Curtis Instruments, Inc., "Method and Apparatus for DC Motor Speed Control", United States Patent, Patent Number:5261025, Nov. 9. 1993.
- [4] James B. Forsythe, "Paralleling of Power MOSFETs for High Power Output", International Rectifier Application Note
- [5] S. Clemente and B. Pelly, "PARALLELING HEXFET POWER MOSFETs," International Rectifier Application Note AN-941.
- [6] T.C Burg, D.M Dawson, J.Hu, P.Vedagrabha "Velocity Tracking Control for a Separately Excited DC Motor Without Velocity measurements" Proceedings of the American Control Conference June 1994
- [7] P. Chevrel. "Robust DC-Motor Speed Control Without any Mechanical sensor", Proceedings International Conference 1997 IEEE, Oct. 5. 1997
- [8] M.Gody Simoes, N.N.Franceschetti, J.C.Adamowski "Drive Control And Energy Management Of A Solar Powered Electric Vehicle" Proceedings of the Thirteenth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition - Volume 1 ,V.1 ,1998 -02 -15
- [9] S.J.Chiang, K.T. Chang, and C.Y. Yen "Residential Photovoltaic Energy Storage System" IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol 45, No.3 June 1998
- [10] Chihchiang Hua, Jongrong Lin, Chihming Shen, "Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking" IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol 45, No.1 February 1998

저 자 소 개



김태업(金兌燁)

1971년 1월 28일생. 1995년 창원대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 박사과정 수료.



안호균(安鎬均)

1958년 1월 14일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1992~현재 창원대 전기공학과 부교수