

마이크로프로세서를 이용한 UTILITY CAR용 CONTROLLER 개발에 관한 연구

김 경 훈*^o, 안 호 균*, 박 승 규*, 김 태 엽*, 박 순 구*

A Study on the Development of CONTROLLER for UTILITY CAR using Micro-processor

Kyeong-Hun Kim*^o, Ho-Kyun Ahn*, Seung-Kyu Park*,
Tae-Yeop Kim*, Soon-Ku Park*

* Changwon National University

Abstract

This paper describes on the development of Controller for the Utility Car using Microprocessor. The Utility Car is composed of Controller, separately excited DC motor, battery and potbox. It is easier to for a digitalized controller using microprocessor append new function than an analogized controller. The test driving of controller shows that the Utility Car travels 20 [km] per charge.

제 1 장 서 론

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 전기 자동차 중의 한 종류로서 사람의 이동 및 물건의 운반 등 다목적 용도로 사용하기 위한 차량으로서 현재 많은 나라에서 사용 중에 있다. 일반적으로 유틸리티 카용 컨트롤러는 신뢰성, 안정성, 효율, 가격 등이 요구 사항으로 결정된다. 첫 번째로 신뢰성 문제에서는 차량의 무게 변화, 기동시, 오르막 등반, 내리막길 주행 시 부하의 변화에 능동적으로 대처해야 하며 언덕 등반 시 및 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 무게를 감소시켜 컨트롤러 및 모터의 효율을 높여야 한다. 마지막으로 가격 문제에서는 환경오염이 없고 소음이 없는 장점에 비해서 가격이 너무 비싸면 안되며, 유지 보수비도 적어야 한다.

본 논문에서는 이상과 같은 요구 사항들을 만족시키는 유틸리티 카용 컨트롤러 개발에 관한 연구를 하였다. 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 프로세서를 이용한 디지털 방식은 CPU의 오동작 문제가 존재하며 가격이 상승한다. 장점으로는 온도 변화 및 노이즈에 강인하며 고성능 제어가 가능하고 여러 가지 인터페이스가 가능하다. 소프트웨어적으로 시스템의 변경이 용이하며, 소형화가 가능하다. 스위칭 소자로는 MOSFET를 사용하였고, 스위칭 주파수는 가칭 주파수를 벗어난 주파수 대역에서 구동시켜 소음이 거의 없으며, PWM기법을 이용해 전력 소모량을 줄이고, 높은 효율을 가지도록 설계하였다.

2 장 유틸리티 카 전체 시스템 구성

유틸리티 카는 배터리, 컨트롤러, 타여자 DC 모터, 솔레노이드 릴레이, 포트 박스 외에도 주 스위치, 후진 스위치, 키 스위치, 백 부저, 충전 소켓, 전압 표시기 등으로 구성되어 있다. 그림 1은 유틸리티 카 전체 시스템의 주요 구성도이다.

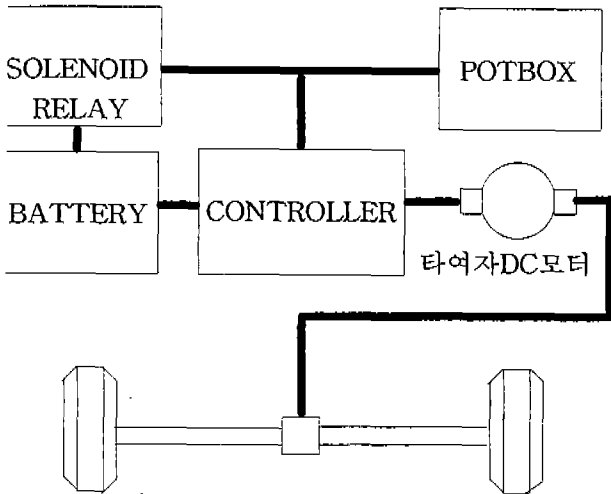


그림 1 유틸리티 카 전체 시스템 구성도

다음 사진은 제작한 컨트롤러를 실험한 차량이다.
 정격 하중: 350 [kg]
 실험 모터 용량: 2.2 [kW] (타여자 DC 모터)
 사용 전압: DC 36 [V] (6 [V] × 6개)

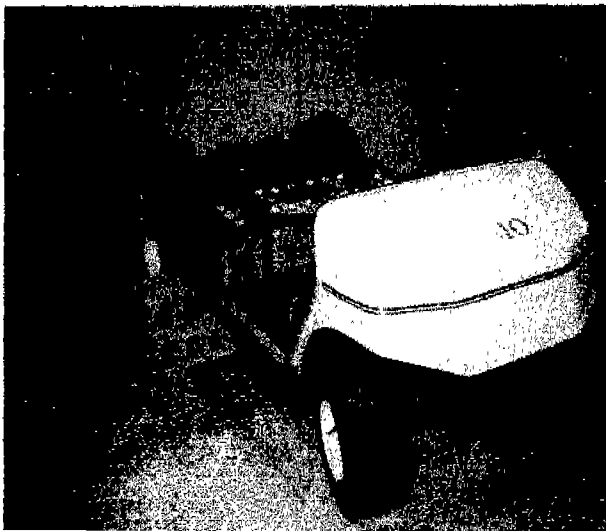


그림 2 실험에 사용된 유틸리티 카 사진

2.1 타여자 DC 전동기

타여자 직류 전동기가 계자 전류 i_f 에 의해 여자 되고, 전기자 전류 i_a 가 전기자 회로로 흐를 때, 전동기는 역기전력을 발생하며, 특정한 속도에서 부하 토크에 맞는 토크를 발생한다. 타여자 DC 전동기의 계자

전류 i_f 는 전기자 전류 i_a 와 서로 독립적이다.

속도가 기준 속도보다 낮은 경우에는 전기자 전류와 계자 전류는 토크 수요를 만족시키기 위하여 일정 상수 상태로 유지되며, 전기자 전압은 속도를 제어하기 위하여 변화한다. 속도가 기준 속도보다 높은 경우에는 전기자 전압은 정격 치로 유지되며, 계자 전류는 속도를 제어하기 위하여 변화한다. 그러나, 전동기에 의해 발생된 전력(토크×속도)은 일정 상수를 유지한다.

2.2 배터리

전기 자동차의 에너지원은 거의 재충전할 수 있는 배터리가 사용된다. 일반적으로 배터리는 에너지 및 파워 밀도가 높아야 하며, 가격을 결정하는 수명도 길어야 한다. 배터리 전압 변동이 적어야 하는데, 전압 변동이 크면 컨트롤러에 영향을 줄 수가 있다. 그리고, 충전 특성도 좋아야 하고, 주위 환경에 의한 온도 변화가 없어야 한다. 이상 열거한 조건을 만족하는 배터리는 이상적이라 할 수 있으며, 이러한 조건을 만족시키기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 본 연구에 사용된 유틸리티 카도 DC 6 [V]를 6개 직렬로 연결하여 총 36 [V]가 공급된다.

2.3 컨트롤러

그림 3은 컨트롤러 블록 다이어그램이다.

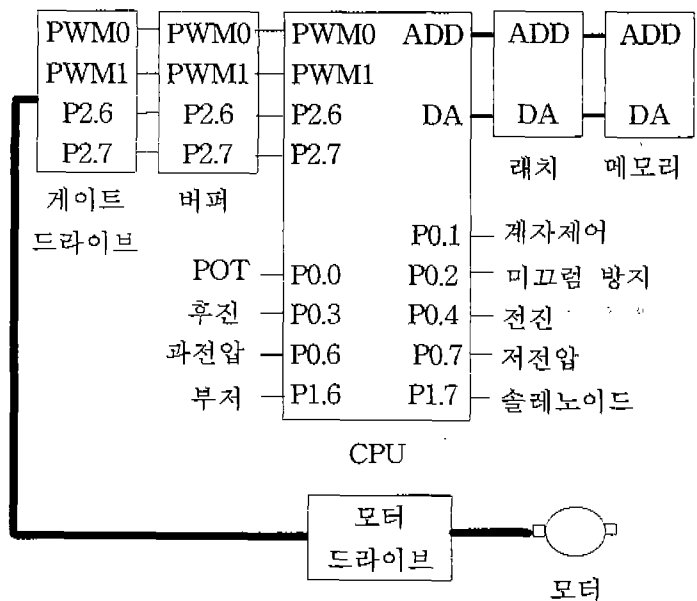


그림 3 컨트롤러의 블록 다이어그램

다음은 제작한 컨트롤러의 사진이다.

크기: 가로 165 [mm] × 세로 121[mm]

무게: 1.1 [kg]

스위칭 주파수: 15.6 [kHz]

사용 전압: DC 36 [V]

최대 동작 전압: 42 [V] (과전압 검출)
 최저 동작 전압: 18 [V] (저전압 검출)
 최대 허용 전류: 주위 온도($T_c=25^\circ\text{C}$) $\Rightarrow 420(84\times 5)[\text{A}]$
 주위 온도($T_c=100^\circ\text{C}$) $\Rightarrow 300(60\times 5)[\text{A}]$

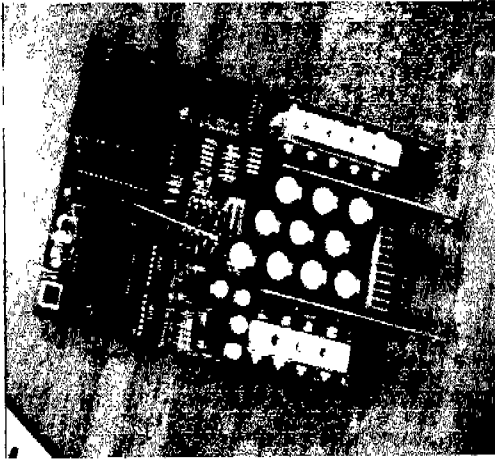


그림 4 제작된 컨트롤러 사진

제 3 장 컨트롤러 소프트웨어 구성

유틸리티 카의 주 스위치를 ON하면 프로그램이 시작된다. 마이크로프로세서의 각 소자들을 초기 값으로 설정한 다음 오류를 체크하고 방향 입력 부로부터 입력된 신호들로부터 방향을 결정하고, 포트 박스로부터 입력된 신호를 A/D 변환하며, 그 값에 맞는 듀티율(duty ratio)을 결정하여 PWM 출력을 내보낸다.

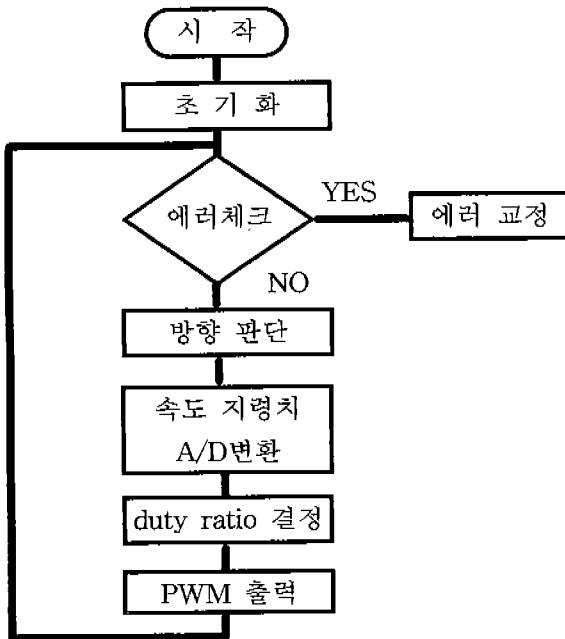


그림 5 소프트웨어 흐름도

제 4 장 컨트롤러의 하드웨어 구성 및 기능 구현

4.1 컨트롤러의 하드웨어 구성

4.1.1 CPU

본 시스템의 제어 부를 구성하는 80C196KC는 각 비트별 입출력 지정이 가능한 입력 전용 및 양방향·포트를 5개 가지고 있다.

제어 부를 구성하는 80C196KC의 각 포트에 대한 기능은 다음과 같다.

포트0은 속도입력부(Accelerator)로부터 오는 지정 속도, 방향 입력으로부터 오는 전·후진 방향 신호, 과전압·저전압 검출, 계자 제어회로 및 미끄럼 방지 회로에 사용된다. 포트1은 제어 부로부터 드라이버단에 전해지는 신호의 전체 인에이블(Enable) 신호와 솔레노이드 릴레이(Solenoid relay)를 동작시키며, 후진(Reverse)이동시 백 부저 음을 발생시키는데 사용되며 포트2는 계자 PWM 신호로서 전·후진 방향을 결정하는 MOSFET을 동작시키는데 사용된다. 포트3과 포트4는 CPU와 메모리의 어드레스 및 데이터용 버스로 사용된다.

표1은 각 포트에 대한 기능을 분류하였다.

표 1 80C196KC 각 핀의 기능

핀 번호	기능
P 0.0	ACCELERATOR
P 0.1	계자제어
P 0.2	미끄럼 방지
P 0.3	후진 신호 (ACTIVE LOW)
P 0.4	전진 신호(ACTIVE LOW)
P 0.6	OVER VOLTAGE
P 0.7	UNDER VOLTAGE
+PWM1	계자(S1) PWM (후진)
+PWM0	계자(S2) PWM (전진)
541PWM1	전기자 PWM
P1.6	BUZZER(ACTIVE LOW)
P1.7	SOLENOID(ACTIVE LOW)

4.1.2 모터 구동부

1) 계자측 구동 회로

스위칭 소자 MOSFET의 구동은 CPU에서 발생된 TTL레벨의 신호를, 게이트 신호 레벨에 맞게 증폭시켜 주는 게이트 전용 IC IR2110을 사용하였다. 다음은 전·후진 시 로직을 설명하고 있다.

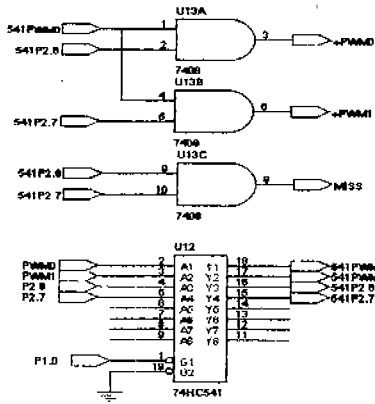


그림 6 버퍼 및 AND 회로

방향 스위치가 전진일 경우 다음 표와 같다.

표 2 전진 시 로직

CPU	7408	U6 IR2110	U5 IR2110
PWM0: 5VPWM	3번: 5V PWM 출력(+PWM0)	10번(HIN): +PWM0	12번(LIN): HIGH
P2.6: HIGH	6번: LOW (+PWM1)	7번(HO): 36VPWM	1번(LO): 15V
P2.7: LOW	8번: LOW	Q4: ON Q3: OFF	Q2: ON Q1: OFF

DCBUS ⇒ Q4 ⇒ 계자 ⇒ Q2 ⇒ GND

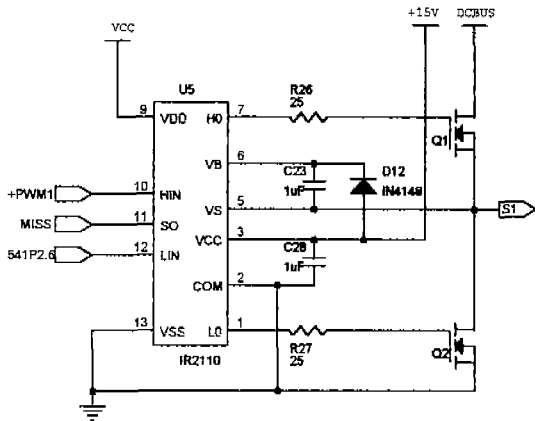


그림 7 계자축(S1) 구동 회로

방향 스위치가 후진일 경우 다음 표와 같다.

표 3 후진 시 로직

CPU	7408	U5 IR2110	U6 IR2110
PWM0: 5VPWM	3번: LOW (+PWM0)	10번(HIN): +PWM1	12번(LIN): HIGH
P2.6: LOW	6번: 5V PWM 출력(+PWM1)	7번(HO): 36VPWM	1번(LO): 15V
P2.7: HIGH	8번: LOW	Q1: ON Q2: OFF	Q3: ON Q4: OFF

DCBUS ⇒ Q1 ⇒ 계자 ⇒ Q3 ⇒ GND

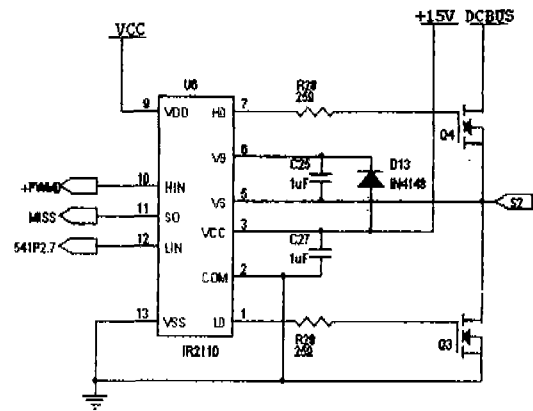


그림 8 계자축(S2) 구동 회로

2) 전기자축 구동 회로

전기자 회로의 스위칭 소자는 MOSFET IRF1010 을 5개로 병렬 연결로 구성하였고, $V_{DSS} = 55[V]$, $R_{DS(ON)} = 0.014 [\Omega]$ 이며 주위 온도(T_c)가 $25^\circ C$ 일 때 최대 허용 전류는 $375 [A]$, 주위 온도(T_c)가 $100^\circ C$ 일 때 $265 [A]$ 까지 가능하다.

주 스위치를 ON하고, 방향이 결정되면 페달의 가속 정도에 따라 단 방향 버퍼를 거친 541PWM1신호가 그림 9회로에서와 같이 U7 IR2110의 LIN(12번)으로 들어가며 LO(1번)의 증폭된 PWM신호가 Q5, Q10, Q11, Q12, Q16으로 각각 들어가서 듀티율에 의한 속도가 결정된다. Q6, Q7, Q8, Q9, Q15는 Q5, Q10, Q11, Q12, Q16에 대한 프리휠링(Freewheeling) 다이오드 역할을 한다.

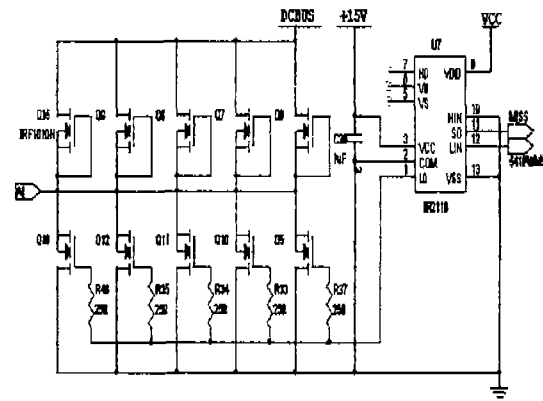


그림 9 전기자축 구동 회로

4.2 컨트롤러의 기능 구현

4.2.1 저전압 및 과전압 검출 회로

저전압 검출 회로에서는 배터리 전압이 $21.9[V]$ 이

하로 떨어지면 비교기의 출력은 HIGH가 되어 CPU는 전기자 출력을 감소시킨다.

과전압 검출 회로에서는 배터리 전압이 42.1[V] 이상이 걸리면 비교기 출력은 LOW가 되어 전기자 출력을 감소시킨다.

4.2.2 미끄럼 방지 회로

다음 회로는 오르막 운전 시 갑작스런 사고에 의해 사용자가 운전을 하지 못하는 경우 차량이 내리막으로 미끄러져 가는 것을 방지하기 위한 회로이다. 만약 차량이 미끄러져 갈 때는 A1전압이 34.5 [V]이하로 떨어질 경우 비교기의 출력은 HIGH신호가 나오어서 P0.2로 들어가 브레이크 기능을 한다.

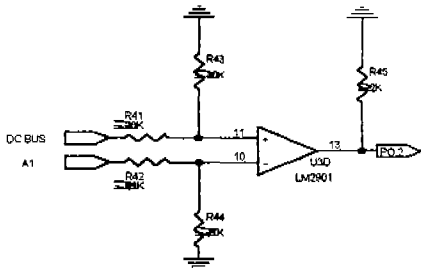


그림 10 미끄럼 방지 회로

4.2.3 계자 제어 회로

D2~D11까지의 전압 강하는 7.1 [V]이고, A점의 전압은 배터리(POWER) - 7.1 [V]이다. 배터리(POWER)의 전압 변동에 따라 B점의 전압을 검출하여 P0.1로 신호를 보내어 듀티율에 의해 계자 전압 값을 가변 시키는 회로이다. 다음은 프로그램의 일부이다.

```
if(dif_field_volt>=40){field=100;} /* 2V */
if(dif_field_volt>=51){field=140;} /* 2.5V */
if(dif_field_volt>=59){field=180;} /* 3V */
```

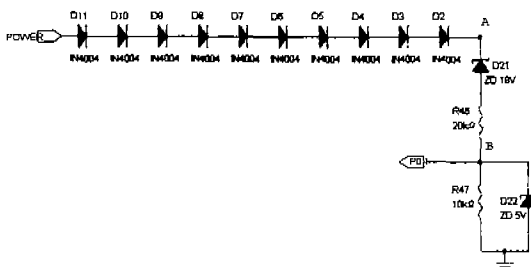


그림 11 계자제어 회로

4.2.4 포트 박스(POTBOX) 회로

POTBOX는 5 [kΩ]의 가변저항으로 되어 있으며,

액서레이터의 페달을 다 밟았을 경우 B점의 전압 값은 약 4.4 [V]가 되고, 액서레이터의 페달을 밟지 않았을 경우 B점의 전압 값은 약 1.4 [V]가 된다. 액서레이터를 밟는 정도에 따라 B점의 전압 값이 1.4 [V] ~ 4.4 [V]까지 변하는데 이 아날로그 신호가 P0.0으로 들어가 A/D변환되며, 변환된 디지털 값은 PWM의 듀티율을 결정하여 차량의 속도가 가변 된다.

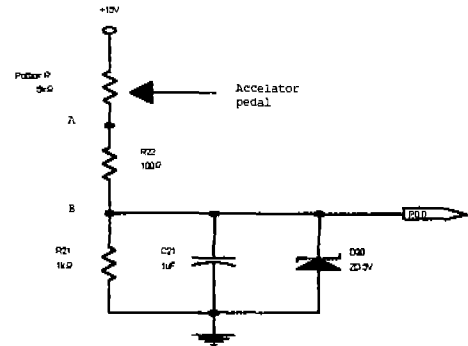


그림 12 포트 박스 회로

제 5 장 실험 및 결과

본 연구에서의 실험은 실제 유틸리티 카에 컨트롤러를 달아서 주행 중 측정된 파형 들이다. 채널1은 전기자 전류 파형이며, 채널3은 계자 전류 파형이다. 주 스위치와 키 스위치를 ON한 후 방향 스위치가 전·후진 위치에 오면 계자 측은 여자 되며, 액서레이터의 밟음 정도에 따라 속도가 가변 된다. 전기자 전류 파형은 1 [V/DIV] → 75 [A]이며, 계자 전류 파형은 1 [V/DIV] → 5 [A]이다.

그림 13은 전진 이동시 정속도 구간에서의 출력 파형이다. 정속도 구간에서는 전기자 및 계자 전류가 거의 일정함을 알 수 있다. 전기자 전류는 약 120 [A], 계자 전류는 약 4.5 [A]정도 흐른다.

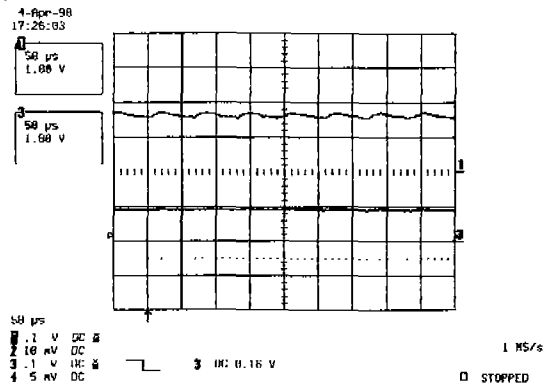


그림 13 전진 이동시 정속도 구간

그림 14는 후진 스위치를 넣은 후 후진 이동시 정속도 구간의 출력 파형이다. 출발 시 전기자 전류는

약 225 [A]정도 흐르다가 일정한 속도가 되면 전기자류는 95 [A]정도로 일정하게 된다. 계자 전류도 기동시 -7 [A]정도 흐르다가 정속도 구간에는 -5 [A]정도로 일정하다.

제 6 장 결 론

본 연구에서 제작된 컨트롤러는 다음과 같은 특징을 가진다.

첫째, 스위칭 주파수가 가청 주파수 대역을 벗어나므로 서 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 아닐로그 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 액서레이터를 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 나도록 하였다. 배터리 내부 임피던스의 전압 강하를 검출하여 배터리 전압에 따른 계자 제어를 가능하게 했다.

유틸리티 카의 배터리를 충전시킨 후 제작한 컨트롤러를 장착하고 주행을 해 볼 수 있었고, 한번 충전에 약 2시간 정도 주행할 수 있었다. 앞으로 속도 피드백 부분이 추가되면 성능 면에서는 기존의 차량 보다 나을 것이라 예상되며 제작된 컨트롤러에서 시장성에 맞게 하려면 더 많은 시간과 연구가 있어야 할 것으로 생각되며, 향후 태양광 발전 겸용 AC DRIVE SYSTEM에 대한 연구를 추진 중에 있다.

참고 문헌

- [1] L. E. Unnewehr, S. A. Nasar " Electric Vehicle Technology "
- [2] CURTIS Company " CURTIS PMC Motor Controllers Manual "
- [3] C.A. Kambouris, Ford Motor Company " Power Electronics for Electric Vehicle Drive Power Train System" IEEE Power Electronics in Transportation, pp. 3-6, 1992

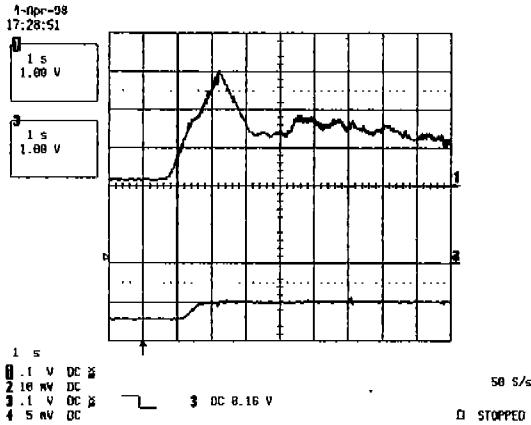


그림 14 후진 이동시 정속도 구간

그림 15는 전진으로 기동하다가 멈춘 뒤 후진 스위치를 넣고 액서레이터를 임의로 밟았을 때의 출력 파형이다. 속도가 불규칙할 경우 전기자 전류의 파형을 볼 수 있다.

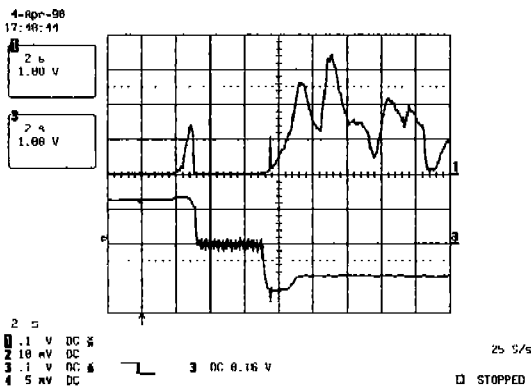


그림 15 후진 이동시 임의로 속도 가변

그림 16은 전진 스위치를 넣고 액서레이터를 임의로 밟았을 때의 출력 파형이다. 속도가 불규칙할 경우 전기자 전류의 파형을 볼 수 있다.

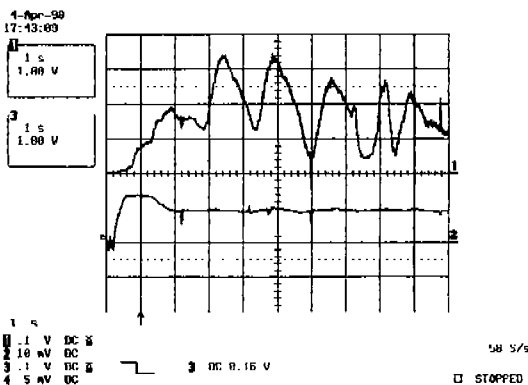


그림 16 전진 이동시 임의로 속도 가변