

# TMS320F240 마이크로프로세서를 이용한 전류제어기 연구

## A Study on a Current Controller using TMS320F240 Microprocessor

배종일\*  
 (Jong-II Bae)

**Abstract** - The DC motor has the strong characteristics in the speed response, the system parameter variations and the external influence and is used as the speed controller with its good starting torque in the distributing industry. However development of the Microprocessor which is for high speed switching program can make better control system. This paper introduce to design of the high-effective DC motor controller that is using Software Bang-Bang Program of Fuzzy algorithm and to verify a PI controller and a Fuzzy controller.

**Key Words** : Self-Tuning, PI Control, PWM Control, TMS320F240 Microprocessor

### 1. 서론

직류모터는 그 자체의 우수한 기동 토크 특성으로 인하여 속도 제어용으로 산업계에서 널리 사용되고 있으며 빠른 응답특성과 시스템 파라미터 변동과 외란 등에 강인성이 직류 모터의 구동시스템에 요구되고 있으며 제어방법으로서 비례-적분 또는 비례-적분-미분제어이다. 선형제어시스템에서 PI제어기의 이득은 대부분 일정하며 제어기의 이득이 적절히 선정될 경우에는 좋은 제어특성을 얻을 수 있지만 직류 모터 제어에서 파라미터의 열적 변화, 마찰과 부하의 비선형 특성을 고려한다면 이득이 일정한 선형제어기만으로는 고성능의 제어특성을 기대하기 어렵다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 전동지게차에 사용되고 있는 직류 직권 모터의 전류제어를 PI 제어방식과 비교 분석하여 고효율 제어가 되도록 성능을 향상시키고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 전류 제어기를 포함한 폐루프 전달함수 유도

모터에 대한 동적 방정식은 전기자와 계자 회로에 Kirchhoff의 전압방정식을 적용하고, 모터 전류와 발생 토크간에는 전기와 기계적인 결합관계식을 적용하여 회전기계 부분에는 뉴턴의 운동 법칙을 적용함으로써 쉽게 운동방정식을 얻을 수 있으며, Fig. 1 과 Fig. 2는 직류 모터의 블록선도이다.

폐루프 시스템으로 전환하기 위하여 전류 센서를 전력회로에 연결하고, 센서의 출력은 모터의 공급전류에 비례하고  $\alpha$ -factor에 의해 증폭된다. 그리고, 전류( $\Delta I_c(s)$ )와 비교하여 Error voltage ( $\Delta \epsilon$ )를 발생시킨다.

블록선도에서 전류변화에 기인한 Closed loop step response ( $\Delta \omega(s)$ )를 구하면 식 (1)과 같다. ( $\Delta T_L = 0$ 일 때)

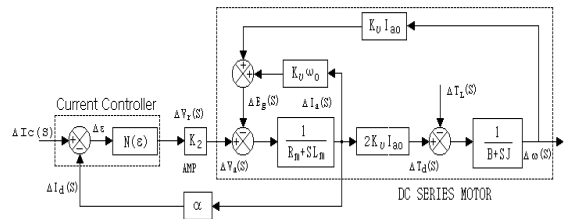


Fig. 1 Closed-loop block diagram of a DC motor

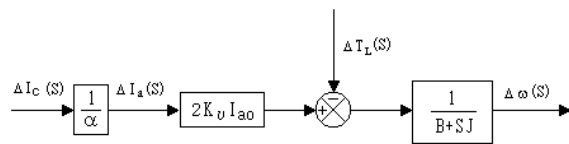


Fig. 2 Simple equivalence block diagram

$$\frac{\Delta \omega(s)}{\Delta I_c(s)} = \frac{N(\epsilon)K_2 2K_v I_{ao}}{(R_m + sL_m)(B + sJ) + K_v w_o (B + sJ) + sK_{f_{\omega v}}^2} \quad (1)$$

최종치 정리에 의해서 식 (2)로 표현된다.

\* Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea

E-mail : jibae@pknu.ac.kr

Received : February 3, 2015; Accepted : August 29, 2015

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta I_L(s)} = \frac{N(\epsilon)K_2 2K_v I_{\omega 0}}{R_m B + K_v \omega_0 B} \quad (2)$$

여기서, K는 스프링 정수 또는 강성이고 B는 점성 마찰계수이며 J는 관성능률이다.

정상상태에서 속도 변화는 식 (3)과 같다.

$$\frac{\Delta\omega(s)}{\Delta T_L(s)} = \frac{(R_m + sL_m) + K_2 N(\epsilon)\alpha + K_v \omega_0}{(B + sJ)[(R_m + sL_m) + K_2 N(\epsilon)\alpha + K_v \omega_0] + 2K_{L\omega}^2} \quad (3)$$

최종치 정리에 의해서 식 (4)로 표현된다.

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta T_L(s)} = \frac{R_m + K_2 N(\epsilon)\alpha + K_v \omega_0}{B(R_m + K_2 N(\epsilon)\alpha + K_v \omega_0) + 2K_{L\omega}^2} \quad (4)$$

## 2.2 TMS320F240 이용한 전류제어기

### 2.2.1 하드웨어 구성

직류 모터의 전류를 제어하기 위한 시스템의 하드웨어 구성도는 Fig. 3과 같다. 전체 하드웨어는 제어기, PWM module, 모터 구동 회로, 전류 센서, 직류 모터로 이루어져 있다[4, 5]. Fig. 4는 이러한 시스템을 구현하기 위한 전체 알고리즘을 보여주는 흐름도이다[6, 7]. Fig. 5는 이때 발생하는 250[μs] 인터럽트 발생 시의 처리 알고리즘을 나타내고 있다. Fig. 5에서 보듯이 1[ms]마다 전류 제어하는 부프로그램으로의 분기가 있고, 5[ms]마다 전류 명령치를 바꿔주는 부프로그램으로의 분기가 있다.

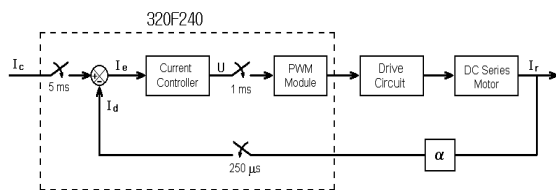


Fig. 3 Total hardware diagram for a current control of real system

Fig. 6은 본 논문에서 사용하는 PWM module의 파형을 나타내고 Fig. 7은 250[μs]일 때 Software interrupt의 파형이며 Fig. 8은 Interrupt time chart이다.

### 2.2.2 Open loop에서의 PWM 제어

Fig. 9는 Control Board에서 나오는 Open loop PWM 신호의 최대·최소 파형을 나타냈다.

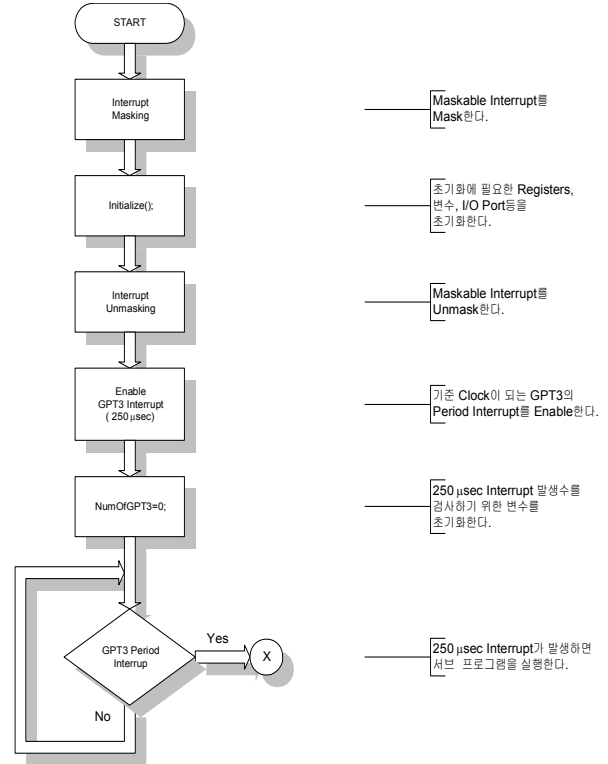


Fig. 4 Flow chart of main program

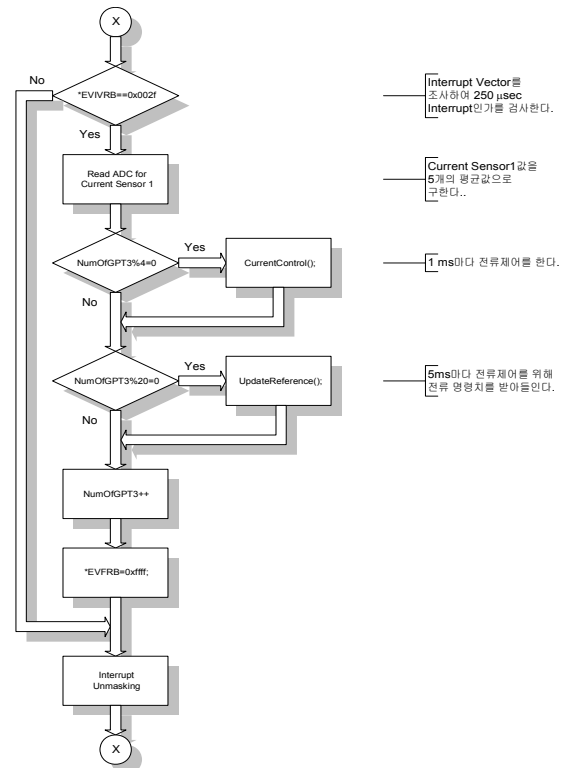


Fig. 5 Flow chart of 250μs Interrupt sub program

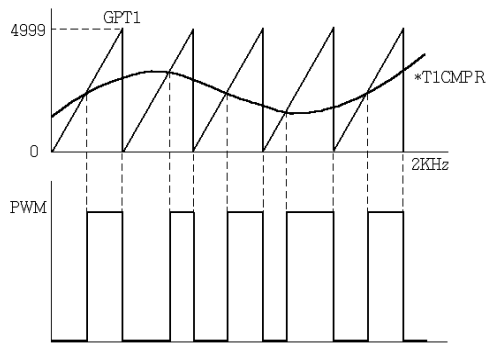


Fig. 6 PWM module

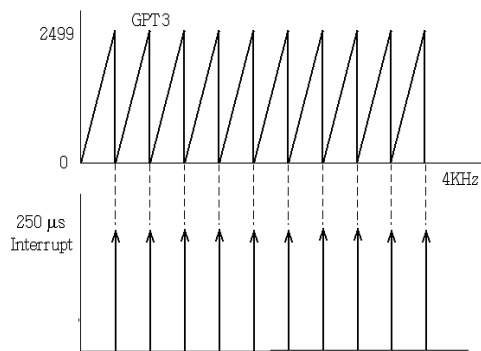


Fig. 7 Software interrupt(250μs)

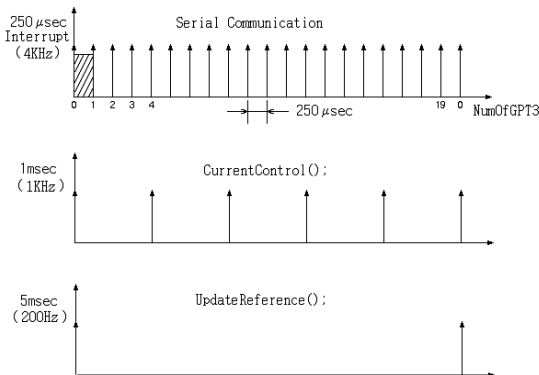
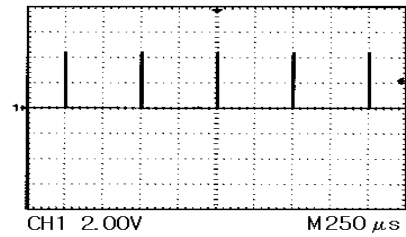
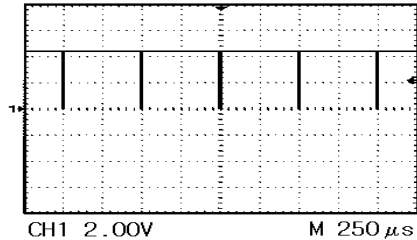


Fig. 8 Interrupt time chart

먼저 DSP 보드에서 각 주파수 별로 CPU가 내는 PWM에 따른 증폭회로의 PWM 출력 파형을 비교해 보았다. Fig. 10은 초퍼 드라이브에 입력신호를 주기 위해 5[V]를 12[V]로 증폭하는 회로를 나타내고 있다. Fig. 11(a)는 증폭 회로에 대한 입·출력 PWM의 duty 비를 나타내고 있다. 여기서 고주파의 PWM을 낼 수록 감소되는 양이 2(%/kHz)의 비율로 커져서 10[kHz] 정도의 PWM에서는 보드에서 20[%] duty 비의 PWM을 내어도 초퍼 입



(a) 최대(98%) PWM 파형



(b) 최소(2%) PWM 파형

Fig. 9 Max/Min of PWM waveforms when open-loop

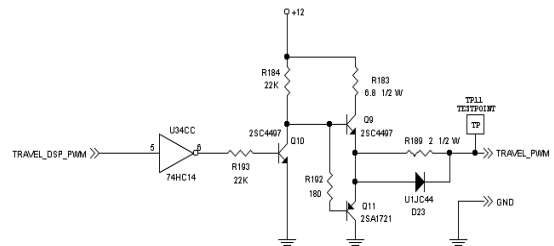


Fig. 10 Circuit diagram of differential amplifier

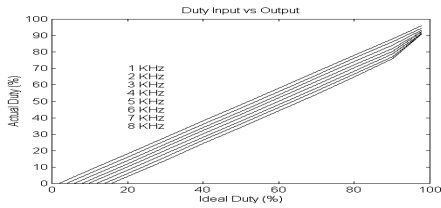
력단에서는 PWM 파형이 거의 0[%] duty임을 알 수 있다. Fig. 11(b)를 보면 리플(Ripple)량은 역시 증가한다는 것을 알 수 있다. Fig. 11(c)를 보면 고주파일수록 90[%] 이상의 duty 비에서는 비선형성이 나타나는 것을 알 수 있다.

### 3. PI 제어기를 이용한 전류 제어기

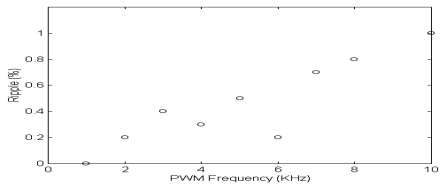
#### 3.1 제어기의 구성

PI 제어기를 이용하여 전류 제어를 하기 위해서는 Fig. 3에 있는 전체 구성도에서 PI 제어기를 Current controller로 사용하면 된다. 여기에서 PI 제어기는 다음 식과 같이 나타낼 수 있으며 연속적인 PI 제어기를 이산적인 시스템에 적용하기 위해 수직 적분을 이용했다.

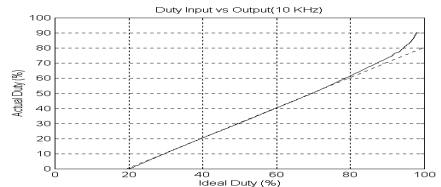
$$\begin{aligned}
 u &= k_p \times e + k_i \times \int e dt \\
 &= k_p \times e + k_i \times \sum e \cdot \Delta t
 \end{aligned}
 \tag{5}$$



(a) 각 주파수별 입력 대 출력 Duty비



(b) 각 주파수별 리플 발생량



(c) 10kHz 입력에 대한 입력 대 출력 Duty비

Fig. 11 Input-output waveforms of differential amplifier

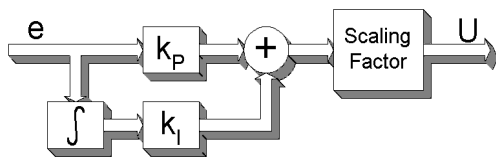


Fig. 12 Block diagram of a PI controller

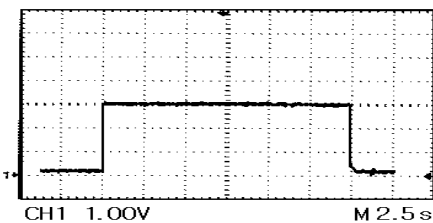


Fig. 13 Response of a PI current controller

Fig. 12는 이러한 PI 제어기에 대한 Block diagram을 보여주고, Fig. 13은 PI 제어기의 응답을 나타내고, Fig. 14는 PI 제어를 이용한 전류제어의 알고리즘을 나타내고 있다.

### 3.2 PI 제어기를 이용한 전류제어

초기 구동 없이 모터를 갑자기 가동시킬 때는 Maximum Overshoot가 크게 발생한다는 것을 알 수 있었으며 전류 명령치

가 60[A]이면 정착시간은 1[sec] 이상이고, 150[A]이면 정착시간은 7[sec] 이상이 되어 만족할 만한 성능을 낼 수 없었다.

또한 초기 PWM duty비가 있을 때 Maximum Overshoot가 줄어들음을 알 수 있었으며 적분이득을 변화시켜도 리플의 변동에는 큰 변화가 없었고 정착시간은 1[sec] 이내에 도달하였다.

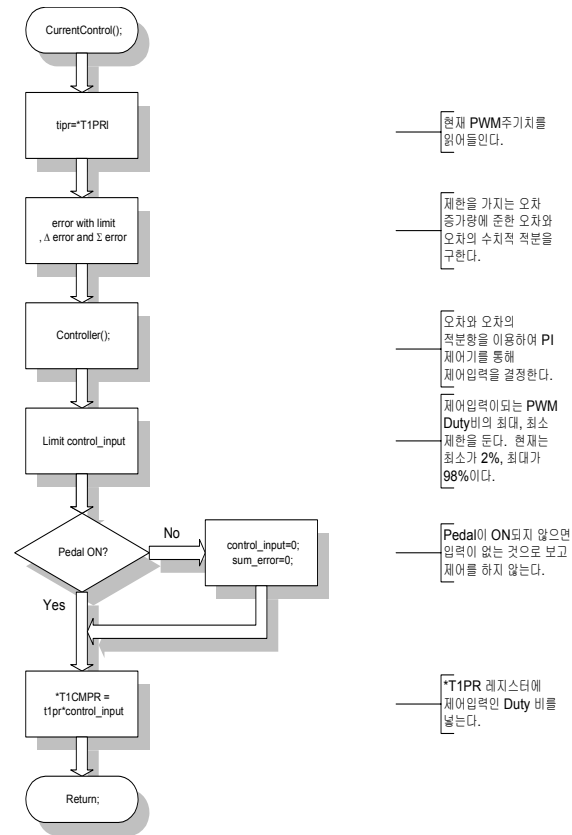


Fig. 14 Flowchart of current control (1ms) program

## 4. 결 론

실험에서 보면 전반적으로 정착시간은 100[ms] 이하로서 별 문제가 되지 않는다. 결과적으로 Maximum Overshoot와 리플량으로 그 성능을 평가할 수 있다. Maximum Overshoot 15[A], 리플 15[A], 상승시 정착 시간 50[ms]로 뛰어난 성능을 나타낼 수 있다.

Table 1 Performance comparison of each controller

성능 \ 제어기	전류 제어기	PI 제어기
Maximum Overshoot	15A	15A
리플	15A	20A

Table 1에서 보면 Maximum Overshoot는 PI 제어기와 같은 성능을 발휘한다는 것을 알 수 있으며, 리플 면에서는 뛰어난 성능을 나타냄을 알 수 있다.

### 감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

### References

- [1] B. Kosko, Neural Networks and Fuzzy Systems, Prentice Hall, 2014
- [2] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of fuzzy algorithm for servo systems", IEEE Control System Magazine, pp. 65-71, April. 1989
- [3] TMS320C2x/C2xx/C5x Optimizing C Compiler-User's Guide, Texas Instrument, 2012
- [4] Rainer Palm, Dimiter Driankov, Hans Hellendoorn, "Model Based Fuzzy Control", Spriger, 1997
- [5] Dimiter Driankov, Hans Hellendoorn, Michael Reinfrank, An Introduction to Fuzzy Control, Springer, 2011
- [6] G. C. D. Sousa and B. K. Bose, "A fuzzy set theory based control of a phase controlled converter DC machine drive," Conf. Rec, IEEE IAS Ann. Meeting, pp. 854-861, October, 1991
- [7] TMS320C5x C Source Debugger-User's Guide, Texas Instrument, 2012
- [8] TMS320C1x/C2x/C2xx/C5x Assembly Language, Tools-User's Guide, Texas Instrument, 2005
- [9] David B. fogel, Evolutionary Computation, IEEE PRESS, 2013

## 저 자 소 개



### 배 종 일 (Jong-II Bae)

1954년 3월 11일생  
1979년 중앙대 전기공학과 졸업  
1981년 중앙대 전기공학과 졸업(석사)  
1989년 성균관대 전기공학과 졸업(박사)  
1986년~현재 부경대 전기공학과 교수  
E-mail : jibaee@pknu.ac.kr