



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

개별이동평균법을 적용한  
퍼지제어기의 응답에 관한연구



2008 年 11 月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

黃鍾德

工學碩士 學位論文

개별이동평균법을 적용한  
퍼지제어기의 응답에 관한연구

指導教授 裴 鍾 一

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2008 年 12 月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

黃 鍾 德

黃鍾德의 工學碩士 學位論文을 認淮함

2008 年 月

主審 工學博士 權聖烈 (印)

委員 工學博士 禹炅一 (印)

委員 工學博士 裴鍾一 (印)



# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 전달함수 .....	2
2.1 직류직권모터의 전달함수 .....	2
2.2 전류제어기를 가진 페루우프 전달함수 .....	5
제 3 장 직류직권 모터의 속도제어기 구성 및 실험 .....	8
3.1 전체 하드웨어 구성 .....	8
3.2 PI제어기를 이용한 속도 제어기 .....	11
3.3 퍼지제어기를 이용한 속도 제어기 .....	21
3.3.1 제어기구성 .....	21
3.3.2 동조된 소속함수를 이용한 퍼지제어기의 속도제어 .....	21
3.3.3 실험결과 .....	29
제 4 장 결론 .....	33
[참고문헌] .....	35

## 표 목차

표 1 위상평면의 제어규칙 .....	22
표 2 퍼지제어기 변화에 의한 소속함수 .....	22
표 3 PI제어와 퍼지제어의 응답비교 .....	34



## 그림 목차

그림 2.1 직류직권모터의 견인력 .....	2
그림 2.2 응답전압과 부하 토크 변화의 블록선도 .....	5
그림 2.3 직류직권모터의 페루우프 시스템 .....	7
그림 3.1 전류제어기의 전체구성도 .....	8
그림 3.2 직류직권 모터의 전체구성도 .....	9
그림 3.3 250[ $\mu$ s]마다 인터럽트 인가 흐름도 .....	10
그림 3.4 PI속도제어기의 실험결과1 .....	14
그림 3.5 PI속도제어기의 실험결과2 .....	16
그림 3.6 부하가 100(A)일때의 PI제어기의 실험결과 .....	18
그림 3.7 순차입력에 따른 일반적인 응답 .....	19
그림 3.8 램프입력의 응답 .....	20
그림 3.9 퍼지제어기의 기본출력 .....	24
그림 3.10 퍼지 싱글톤을 이용한 퍼지제어기의 출력 .....	26
그림 3.11 개별이동평균법을 이용한 퍼지제어기의 출력 .....	28
그림 3.12 기준속도에 따른 속응성 .....	30
그림 3.13 개별이동평균법을 이용한 퍼지제어기의 응답 .....	33

# A Study on The Response of Fuzzy Controller Using Individual Moving Mean Method

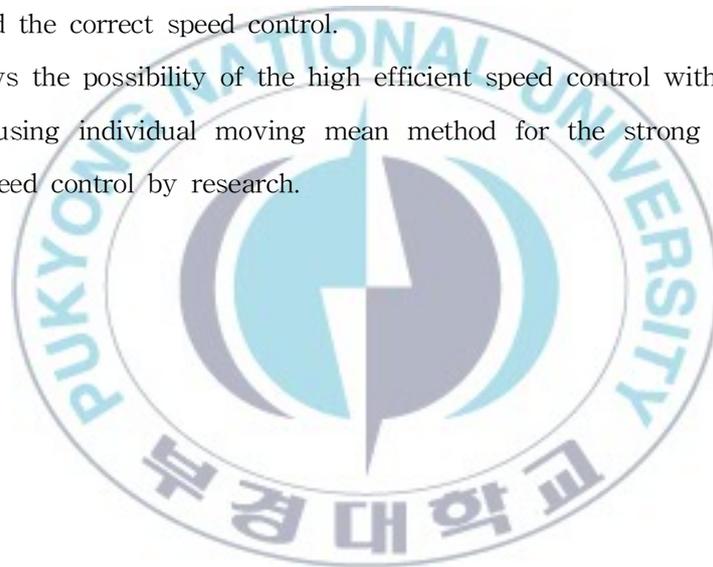
Jong-Duck Hwang

*Department of Electrical Engineering  
Graduate School of Industry  
Pukyong National University*

## **Abstract**

PID control has been used for Torque, Speed control and stability and the same character of DC Motor has been researched on actively for the stable driving and the correct speed control.

This study shows the possibility of the high efficient speed control with fuzzy controller using individual moving mean method for the strong control and the stable speed control by research.



# 제 1 장 서 론

속도제어를 위하여는 PID 제어기의 이득을 시스템 변화에 따라 조정하는 Adaptive Control 방법이 적용하고 있으나 알고리즘의 복잡성 및 여러 가지 이유로 인하여 실제로 원활한 제어를 구현하기가 힘든 단점을 가지고 있다<sup>[1][2][3]</sup>. 또한 비선형제어 방법으로 가변구조제어(Variable Structure Control)방법이 사용되고 있으나 Sliding 평면에서 고속 모델링이 무시되었던 고주파 동특성을 야기 시킬 수 있는 문제점을 가지고 있어 이러한 문제점을 해결하기 위하여 PI제어기와 퍼지제어기를 이용하여 보다 나은 제어를 적용하여 고효율 속도제어를 구현하고자 하며 실험을 통한 퍼지제어기의 특성이 우수함을 나타내고자 한다.



## 제 2 장 전달함수

### 2.1 직류직권모터의 전달함수

직류직권모터는 마찰과 견인력에 의해서 정상상태속도가 결정되는 큰 견인력을 필요로 하며 단자전압(Terminal voltage) 조절에 의해서 모터는 일정한 토크(또는 전류)로 최고 단자전압에 해당하는 정격속도까지 제어되어 진다.

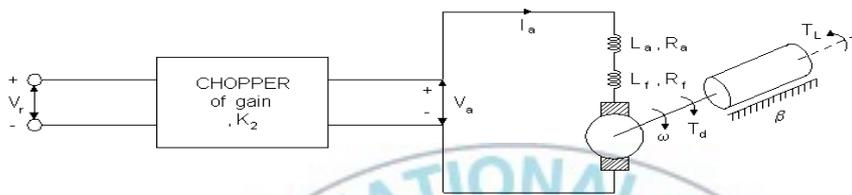


그림 2.1 직류직권모터의 견인력

그림 2.1과 같이 단자전압은 Chopper의 선형이득  $K_2$ 에 의한 기준전압과 관련되어진다. 역기전력 상수  $K_v$ 가 전기자(또는 계자)전류에 관계없이 일정하다고 가정하고, 부하를 포함하는 모터시스템의 직류직권모터의 방정식을 유도하면,

$$V_a = K_2 V_r, \quad e_g = K_v i_a \omega$$

$$V_a = R_m i_a + L_m \frac{di_a}{dt} + e_g \quad (1)$$

$$T_d = K_t i_a^2$$

$$T_d = Jd\frac{\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (2)$$

식  $T_d = K_t i_a^2$  에서 가변 · 비선형(Variable-type nonlinearity) 특성을 나타내므로 전달함수 해석기법을 적용하기 위해 제한된 작동범위 내에서만 비선형시스템을 선형화하여 제어기를 설계한다.

따라서, 작동점 부근에서의 시스템 Parameter들을 다음과 같이 정의하면,

$$e_g = E_{g0} + \Delta e_g, \quad i_a = I_{a0} + \Delta i_a, \quad v_a = V_{a0} + \Delta v_a, \\ T_d = T_{d0} + \Delta T_d \quad (3)$$

$$w = w_0 + \Delta w, \quad v_r = V_{r0} + \Delta v_r, \\ T_L = T_{L0} + \Delta T_L \quad (4)$$

식 (1)에서 식 (2)은 다음과 같이 선형화될 수 있다.

$$\Delta v_a = K_2 \Delta v_r, \quad \Delta e_g = K_v (I_{a0} \Delta w + w_0 \Delta i_a) \quad (5)$$

$$\Delta v_a = R_m \Delta i_a + L_m \frac{d(\Delta i_a)}{dt} + \Delta e_g \quad (6)$$

$$\Delta T_d = 2K_v I_{a0} \Delta i_a, \\ \Delta T_d = J \frac{d(\Delta w)}{dt} + B\Delta w + \Delta T_L \quad (7)$$

이들의 식을 Laplace 영역으로 변환하면 다음과 같다.

$$\Delta V_a(s) = K_2 \Delta V_r(s) \quad (8)$$

$$\Delta E_g(s) = K_v [I_{ao} \Delta w(s) + w_o \Delta I_a(s)] \quad (9)$$

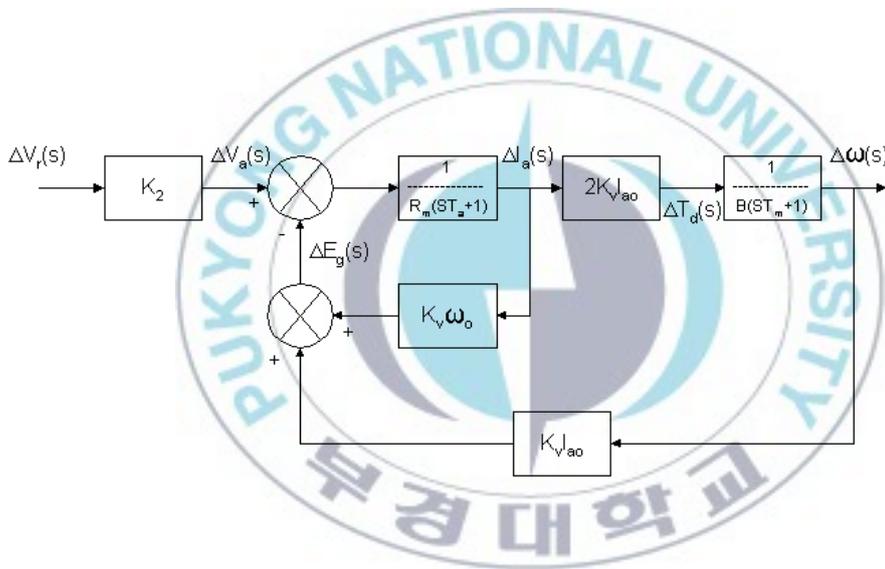
$$\Delta V_a(s) = R_m \Delta I_a(s) + s L_m \Delta I_a(s) + \Delta E_g(s) \quad (10)$$

$$\Delta T_d(s) = 2K_v I_{ao} \Delta I_a(s) \quad (11)$$

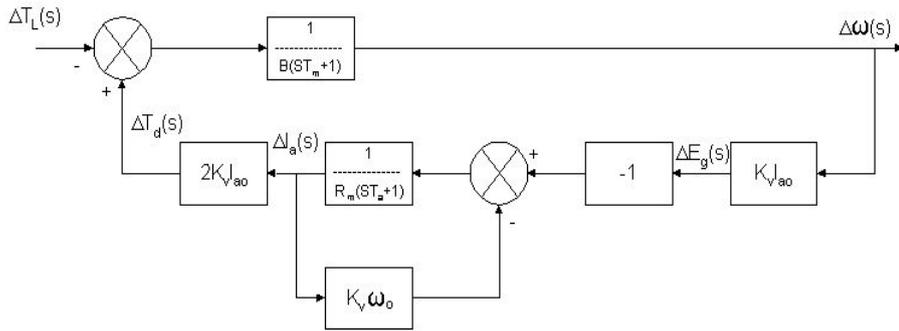
$$\Delta T_d(s) = s J \Delta \omega(s) + B \Delta \omega(s) + \Delta T_L(s) \quad (12)$$

위 식들은 Reference voltage 또는 Load torque 중 어느 한쪽의 변화가 속도변화를 의미한다.

Reference voltage의 변화에 관한 Block diagram이 그림 2.2(a)에 나타나고, Load torque의 변화에 관한 블록선도는 그림 2.2(b)에 나타낸다.



(a) 응답전압에 대한 변화



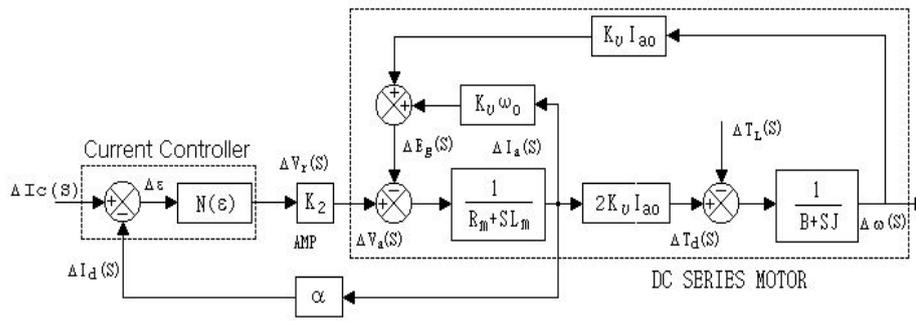
(b) 부하 토크에 대한 변화

그림 2.2 응답전압과 부하 토크의 변화에 대한 블록선도

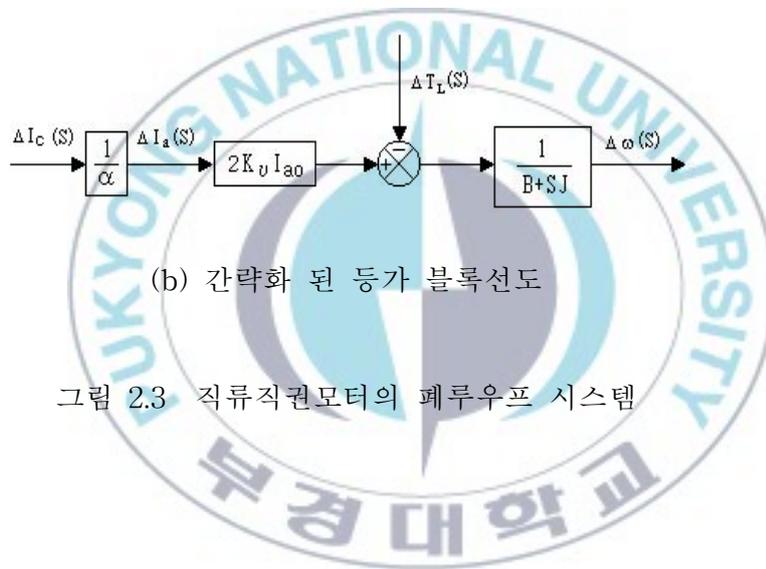
## 2.2 전류 제어를 가진 페루우프 전달함수

전동기에 대한 동적방정식은 전기자·계자회로에는 Kirchhoff의 전압방정식을 적용하고, 모터 전류와 발생 토크간에는 전기·기계적인 결합관계식을 적용하여 회전기계 부분에는 뉴턴의 운동법칙을 적용함으로써 쉽게 운동방정식을 얻을 수 있다.

2.1절에서의 페루우프 시스템에서 페루우프 시스템으로 전환하기 위하여 전류 Sensor를 전력회로에 연결하고, 센서의 출력은 모터의 공급전류에 비례하고  $\alpha$ -factor에 의해 증폭된다. 그리고 Current( $\Delta I_c(s)$ )와 비교하여 Error voltage( $\Delta \varepsilon$ )를 발생시킨다.



(a) 직류 직권 모터 전력회로의 블록선도



(b) 간략화 된 등가 블록선도

그림 2.3 직류직권모터의 폐루프 시스템

- (1) 상기 블록선도에서 Reference 전류 ( $\Delta I_c(s)$ ) 변화에 기인한 Closed-loop step response ( $\Delta\omega(s)$ )를 구한다. ( $\Delta T_L = 0$ 일 때)

$$\frac{\Delta\omega(s)}{\Delta I_c(s)} = \frac{N(\epsilon)K_2 2k_v I_{a0}}{(R_m + sL_m)(B + sJ) + N(\epsilon)K_2\alpha(B + sJ) + k_v\omega_0(B + sJ) + sK_{I_{a0}^2}^2 v}$$

최종치 정리에 의해서

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta I_c(s)} = \frac{N(\epsilon)K_2 2K_v I_{a0}}{(R_m B + N(\epsilon)K_2\alpha B + K_v\omega_0 B)}$$

- (2) 정상상태에서 속도 변화 -  $\Delta\omega(s)$

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta T_L(s)} = \frac{R + K_2 N(\epsilon)\alpha + K_v\omega_0}{B(R_m + K_2 N(\epsilon)\alpha + K_v\omega_0) + 2K_{I_{a0}^2}^2 v}$$

$$\frac{\Delta\omega(s)}{\Delta T_L(s)} = \frac{(R_m + sL_m) + K_2 N(\epsilon)\alpha + K_v\omega_0}{(B + Js)[(R_m + sL_m) + K_2 N(\epsilon)\alpha + K_v\omega_0] + 2K_{I_{a0}^2}^2 v}$$

# 제3장 직류직권모터의 속도제어기 구성 및 실험

## 3.1 전체 하드웨어 구성

직류직권모터의 속도를 제어하기 위해 그림 3.1과 같이 PI 전류제어기<sup>[4][5]</sup>를 내부 Loop로 사용하며, 전체 시스템의 구성도는 그림 3.2와 같다.

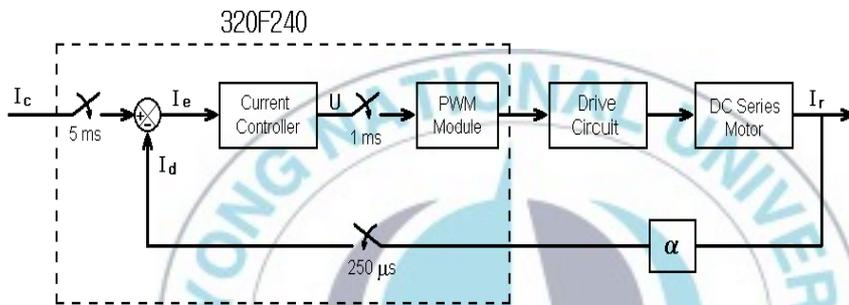


그림 3.1 전류제어기의 전체구성도

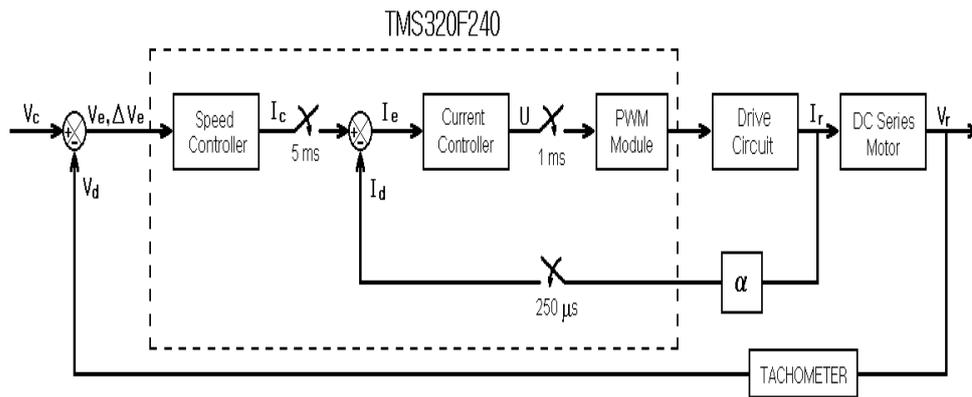


그림 3.2 직류직권모터의 속도제어전체구성도

그림 3.2의 Hardware에서 내부 Loop는 전류 제어기, PWM 모듈, 모터 구동회로 및 전류센서로 구성되어 있으며, 외부 Loop는 속도 제어기<sup>[11][12]</sup>, 직류 직권 모터 및 속도 센서인 Tachometer로 구성되어 있다.

그림 3.3에 나타난 것처럼 속도 제어기는 5 ms마다 전류 명령치를 바꿔주도록 되어있으며, Interrupt 및 PWM에 관한 설정은 PI 전류 제어기의 것을 따르고 있다.<sup>[11][12][7][8]</sup>

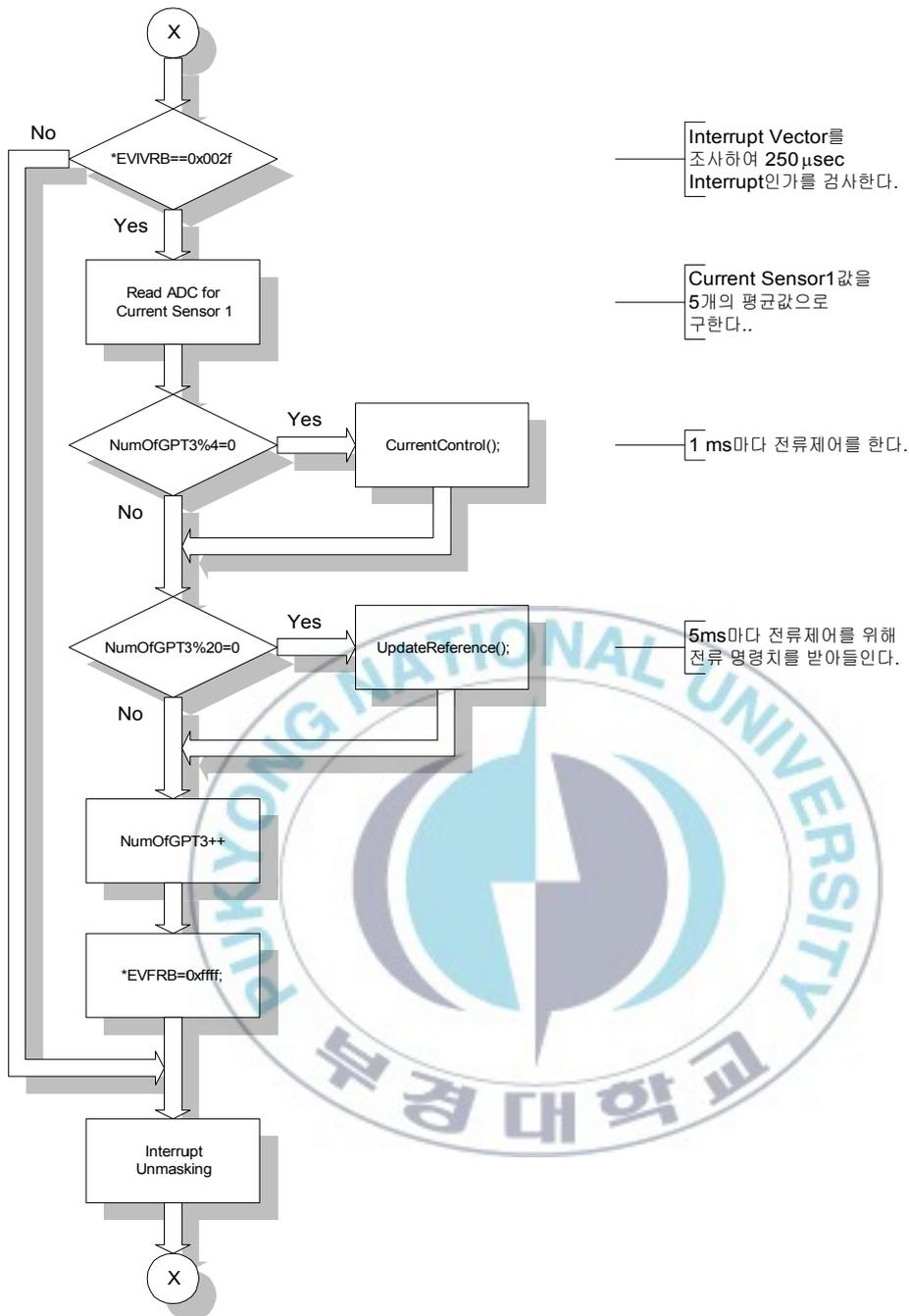


그림 3.3 인터럽트 인가 흐름도

## 3.2 PI제어기를 이용한 속도 제어기

### (1) 제어기의 구성

PI제어기를 이용하여 속도 제어를 하기 위해서는 그림 3.2에 나와 있는 속도 제어기를 PI제어기로 하면 된다. 속도 제어기의 입력은 기준 속도 명령치와 Tachometer에서의 속도 피드백 값의 오차와 그의 합이 되고, 출력은 내부 Loop인 전류 제어기의 기준 전류 명령치가 된다. PI 제어기에 사용된 식은 (13)와 같다.

$$\begin{aligned} u &= k_P \times e + k_I \times \int e dt \\ &= k_P \times e + k_I \times \sum e \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (13)$$

여기에서 속도 정보는 5 ms마다, 전류 정보는 1 ms마다 그리고, 페달 입력은 5 ms마다 5회의 단순이동 평균치를 사용해 각각 Tachometer의 잡음, 전류 센서의 잡음 그리고, 페달의 포텐셔미터 잡음을 제거하도록 하였다. 이동 평균법이란 디지털 LPF(Low Pass Filter)에 해당하며, 식 (14)으로 표현될 수 있다. 여기에서 Weight를 균일하게 두면, 단순이동평균법이 된다.

$$y(i) = \frac{1}{W} \sum_{j=-m}^0 w(j)x(i+j) \quad (14)$$

여기에서,  $W = \sum_{j=-m}^0 w(j)$ : 정규화상수  
 $w(j)$ : weight

## (2) PI속도제어기 이득 조정

실험 결과의 그래프에서, 위쪽의 속도 응답은 1[V]가 500[rpm]을 나타내고 있으며, 아래쪽의 전류는 1[V]가 100[A]를 나타낸다. 또한 하단의 Oscilloscope Channel 2의 전류 스케일은 100[mV]가 1V/DIV을 의미한다. 그리고 부하가 100[A]가 걸린 것은 전동차 차체 중량에 의한 부하를 나타내고 있다.

### a) 비례 이득( $k_p$ )를 변화시킬 때의 응답

그림 3.4는 속도 명령치가 1500[rpm]이고  $k_i$ 가 1이며 부하가 100[A]일 때,  $k_p$ 가 변화함에 따른 응답을 보여주고 있다.

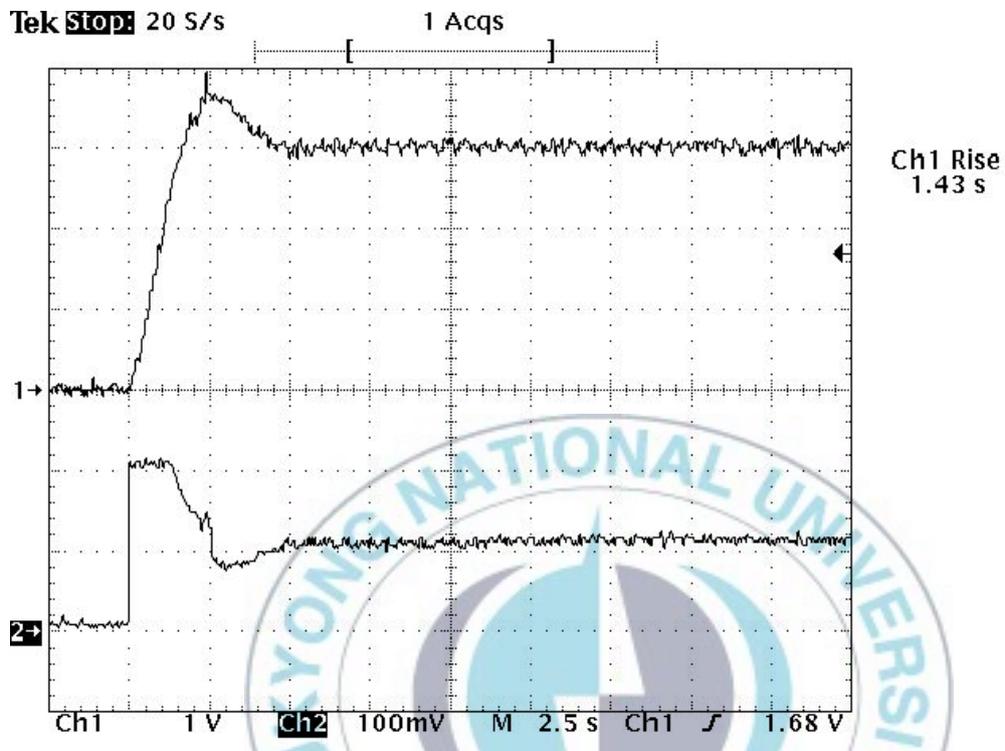
### b) 적분 이득( $k_i$ )를 변화시킬 때의 응답

그림 3.5는 속도 명령치가 1500[rpm]이고  $k_p$ 가 5.0이며 부하가 100[A]일 때,  $k_i$ 가 변화함에 따른 응답을 보여주고 있다.

## (3) 실험 결과

그림 3.6은 부하를 100[A]로 유지하면서,  $k_p=5.0$ ,  $k_i=0.5$ 에서 기준 속도를 변화시킬 때의 응답으로 나타내고 있다. 기준 속도 2500[rpm]에서는 이런 제한에 의하여 정상상태 오차가 늘어나고, 점근 기울기가 증가하는 등의 잘못된 응답을 보이고 있다.

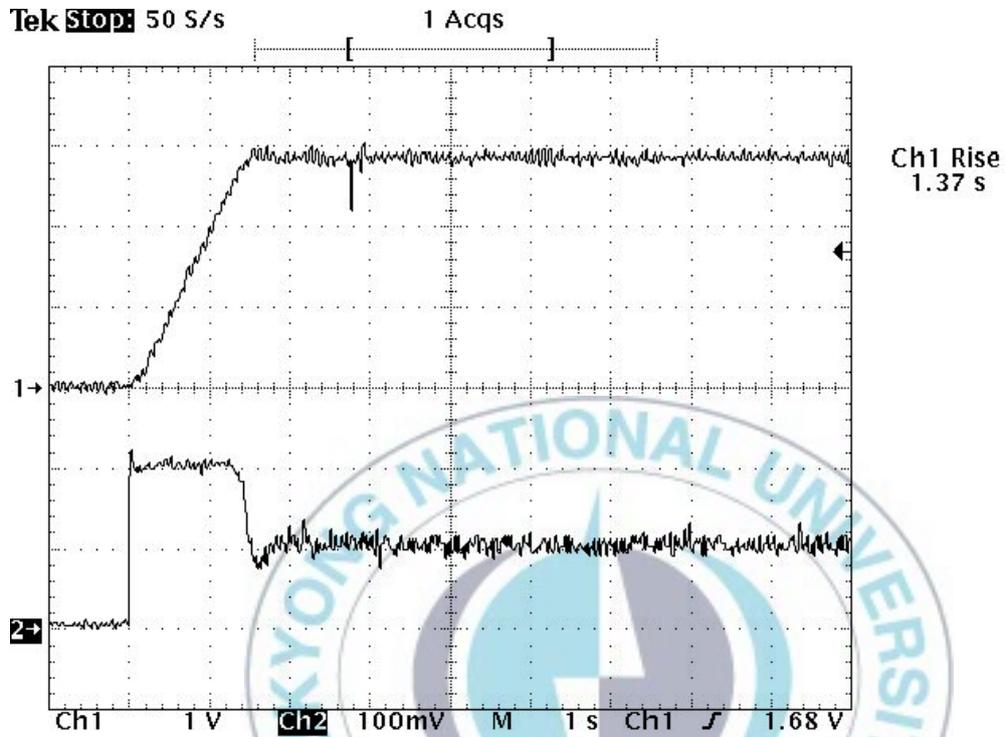
그림 3.7과 3.8은 응답특성이 속도변화에 적응하지 못하는 것이 나타나고 있다.



(a)  $k_p=1.0$

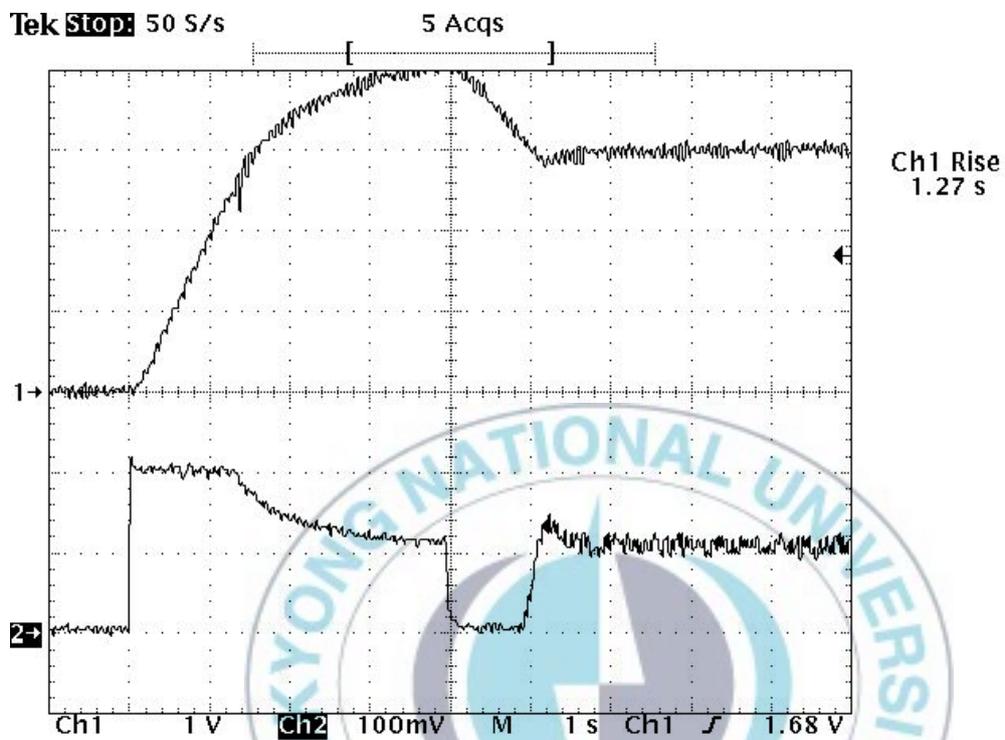
그림 3.4 PI 속도제어기의 실험결과1 (a)  
 ( $k_i=1$ , load 100[A], 응답속도 1500[rpm])





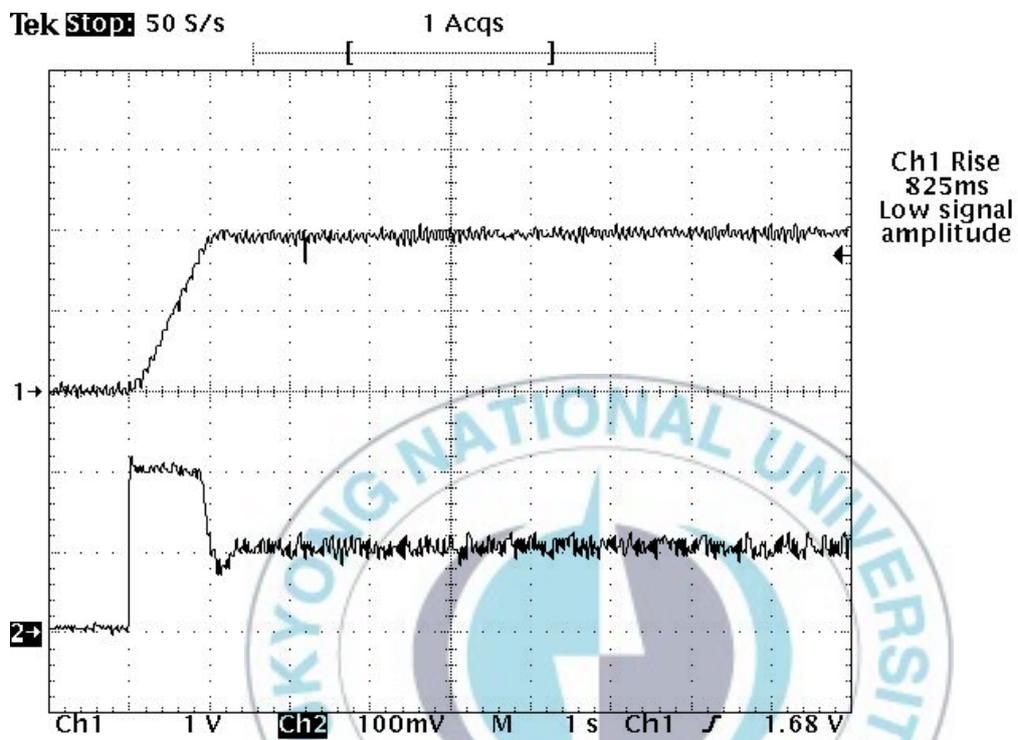
(a)  $k_f=0.1$

그림 3.5 PI 속도제어기의 실험결과2 (a)  
( $k_f=1$ , load 100[A], 응답속도 1500[rpm])



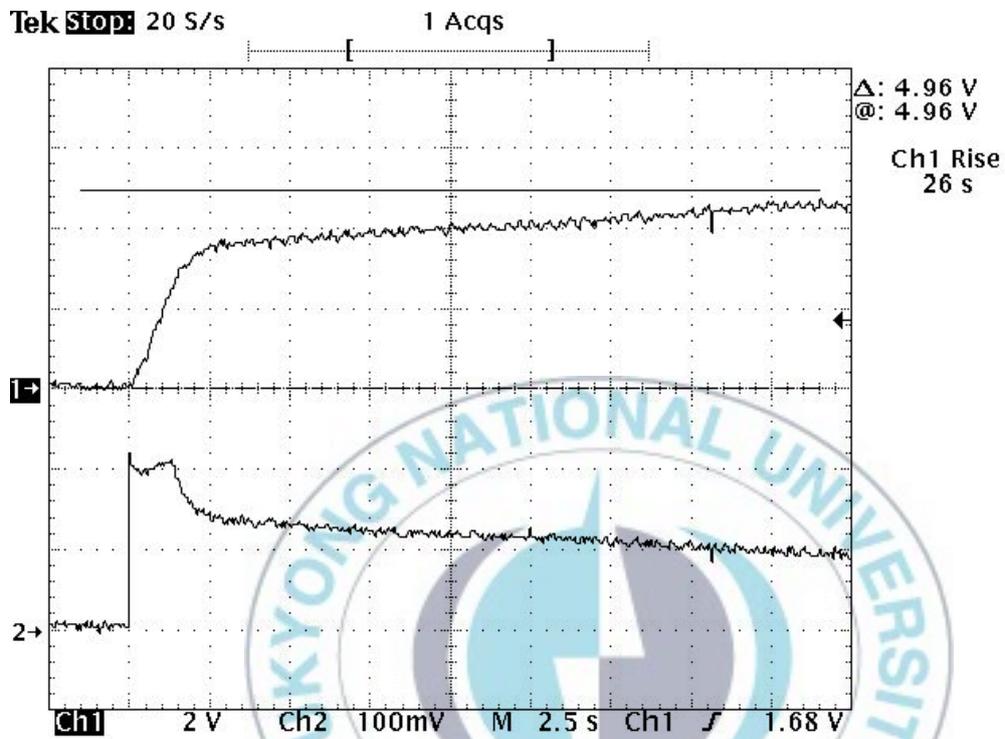
(b)  $k_I = 4.0$

그림 3.5 PI 속도제어기의 실험결과2 (b)  
( $k_I = 1$ , load 100[A], 응답속도 1500[rpm])



(a) 기준 속도 1000[rpm]

그림 3.6 부하가 100[A] 일때의 PI 제어기의 실험결과 (a) (max. 200[A])



(b) 기준 속도 2500[rpm]

그림 3.6 부하가 100[A] 일때의 PI 제어기의 실험결과 (b) (max. 200[A])

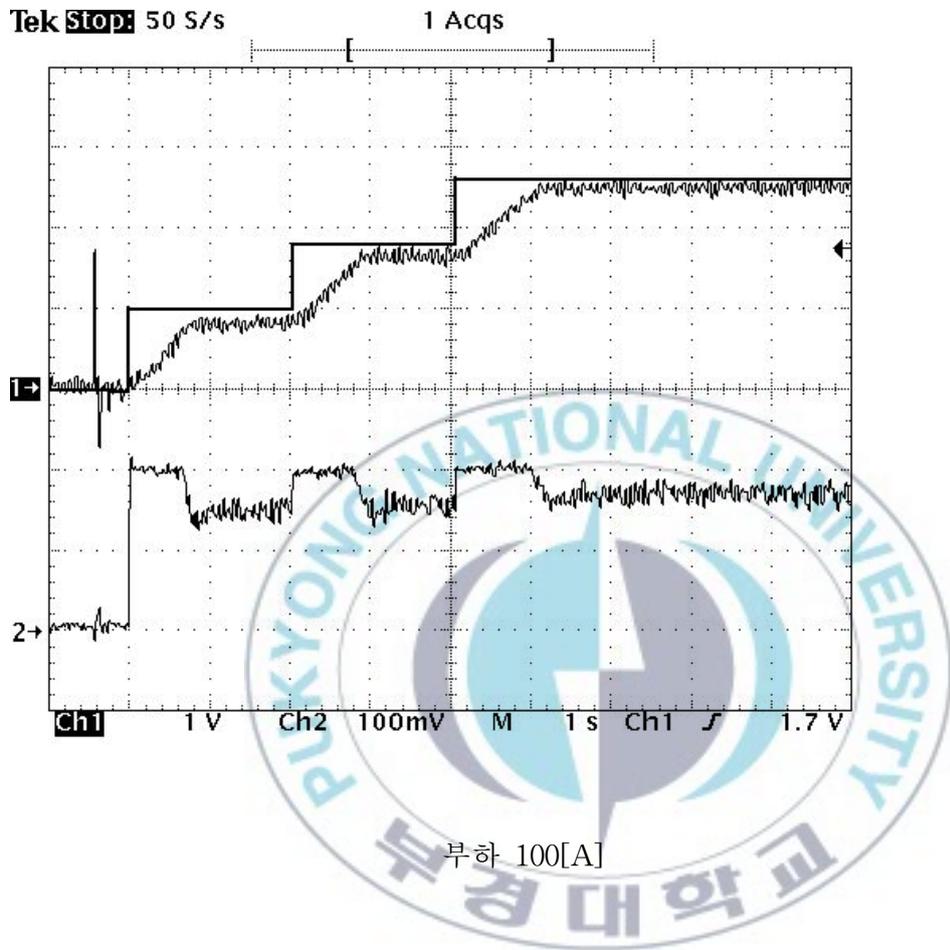


그림 3.7 순차입력에 따른 일반적인 응답 (500[rpm], 900[rpm], 1300[rpm])

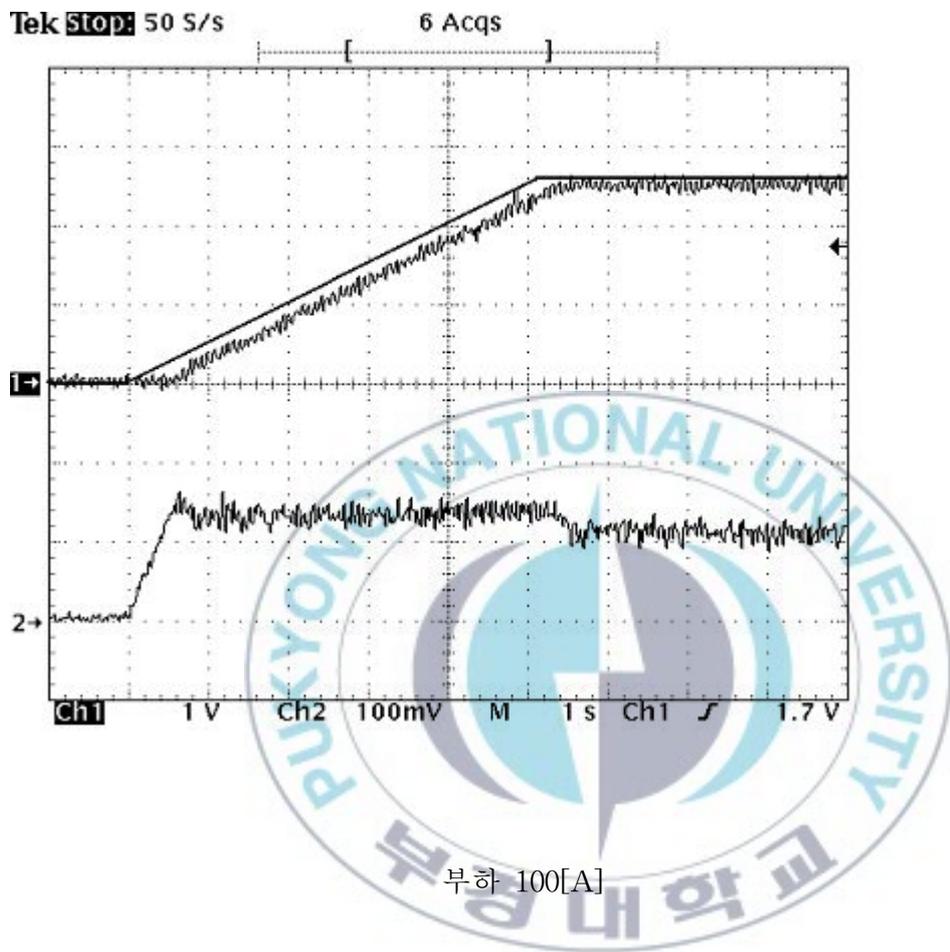


그림 3.8 램프입력의 응답

### 3.3 퍼지제어기를 이용한 속도 제어기

#### 3.3.1 제어기의 구성

퍼지제어기를 이용하여 속도제어를 하기 위해서는 그림 3.2에서의 속도 제어기를 퍼지제어기로 구성하면 된다. 퍼지제어기의 입력은 기준 속도 명령치와 Tachometer에서의 속도 Feedback 값의 오차와 그 변화율이 되고, 출력은 내부 Loop인 전류 제어기의 기준 전류 명령치가 된다.

#### 3.3.2 동조된 소속함수를 이용한 퍼지제어기의 속도제어

퍼지제어기에 사용된 조건을 보면, 퍼지 규칙은 위상평면에 기초하여 나온 표 1의 값을 사용하며, 소속함수는 유전 알고리즘에 의해 동조된 표 2의 값을 이용하고 있다. 표 2의 소속함수<sup>[2][3]</sup>들은 모두 정규화되어 있으므로 스케일 값이 필요한데, 속도 오차는 그 스케일을 0.5로 잡으며, 오차 변화율을 1.0으로 두며, 출력은 2.5로 둔다. 여기서 속도 오차와 오차 변화율은 1.0일 때 500[rpm]을 의미하며, 출력은 1.0일 때 100[A]를 의미한다.

표 1 위상평면의 제어규칙

$\Delta e^e$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

언어값(Language Value)

NB : Negative big,

NM : Negative medium,

NS : Negative small,

PS : Positive small

PU : Positive medium

PB : Positive big

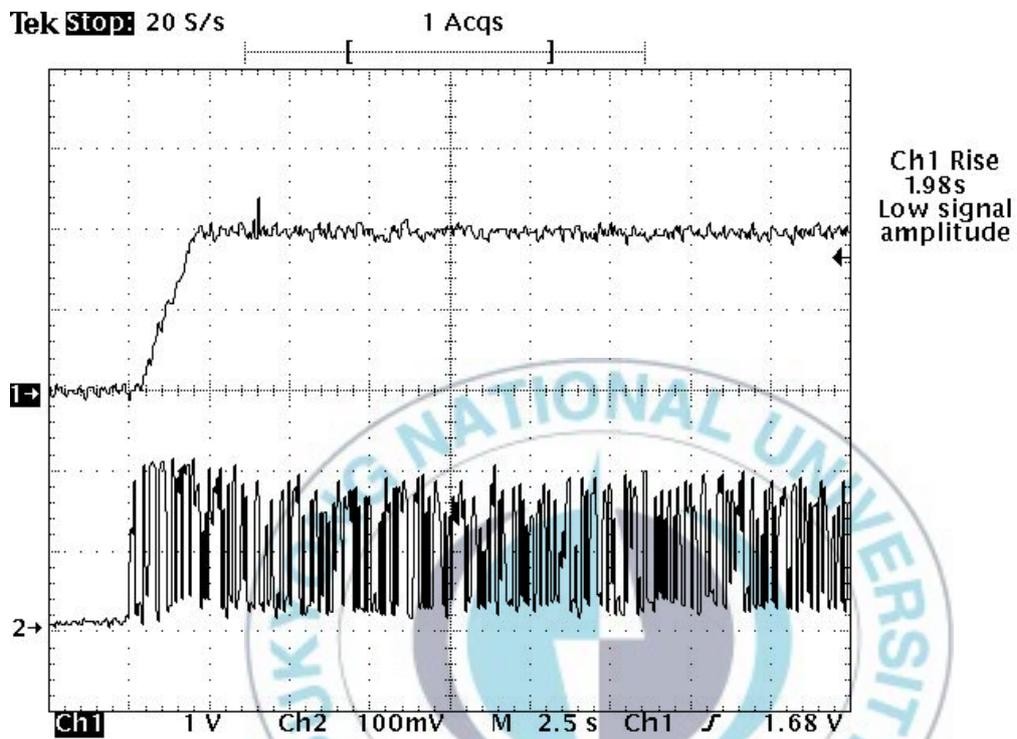
표 2 퍼지제어기 변화에 의한 소속함수

종류	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	-1.00	-0.42	-0.08	0.00	0.03	0.21	1.00
$\Delta e$	-1.00	-0.61	-0.25	0.00	0.31	0.74	1.00
u	-1.00	-0.62	-0.35	0.00	0.32	0.57	1.00

### (1) 기본 펄지 제어기

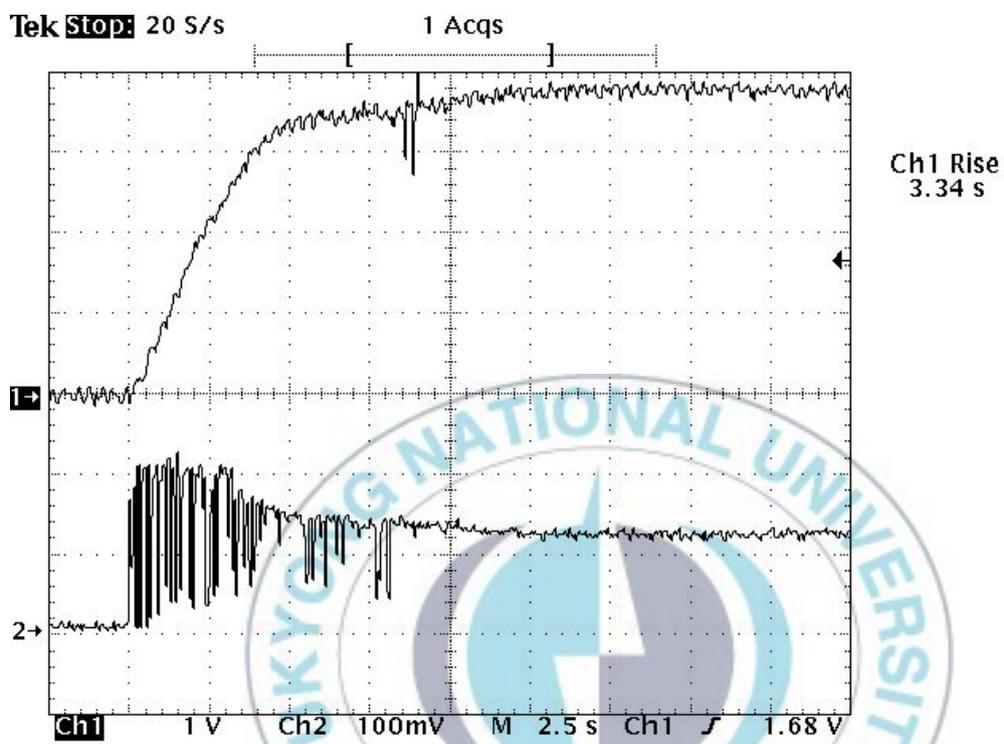
유전 알고리즘에 의해 자기 동조된 소속함수를 가지는 펄지 제어기를 수행한 결과가 그림 3.9에 나타나 있으며, 부하는 100[A]이다. 여기에서 속도 정보는 5[ms]마다 5개의 이동 평균법을 이용하여 구한 값으로 하며, 이 값을 이용해 오차와 오차 변화율을 구한다.





(a) 기준 속도 1000[rpm]

그림 3.9 퍼지제어기의 기본출력 (a) (부하 100[A])



(b) 기준 속도 2000[rpm]

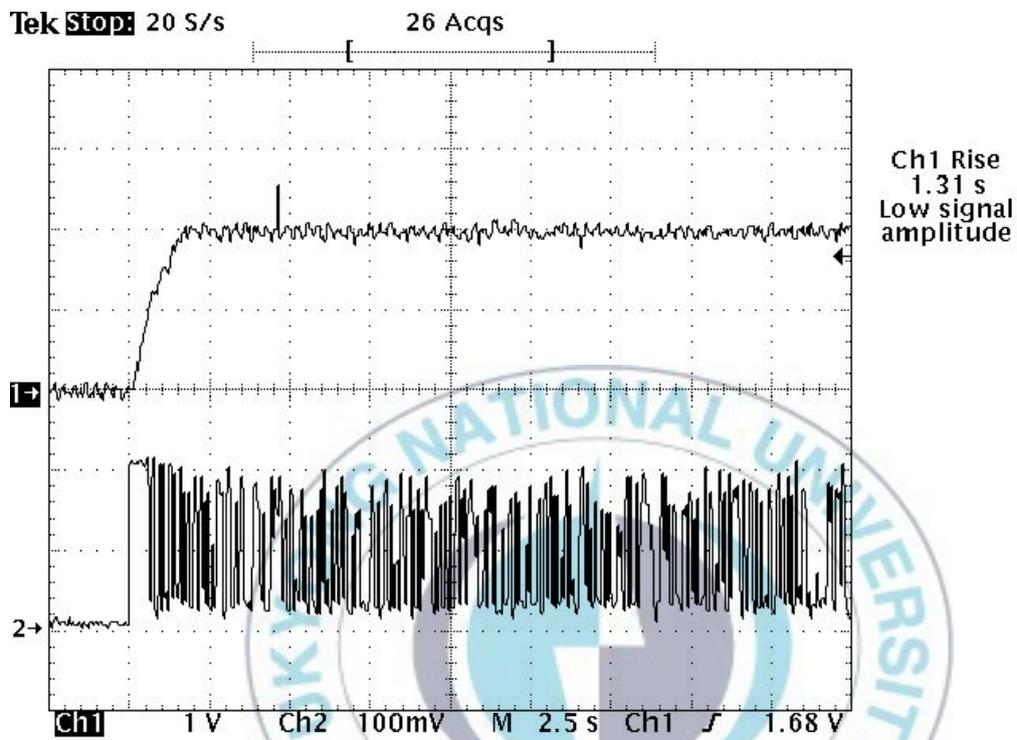
그림 3.9 피지제어기의 기본출력 (b) (부하 100[A])

그 응답을 보면, 기준 속도가 1000[rpm]에서는 정상상태 오차는 발생하지 않으며, 정상상태로의 점근 기울기는 0이 된다. 그러나 2000[rpm]에서는 정상상태 오차가 발생하는데 이는 출력 퍼지 스케일이 맞지 않기 때문이다.

## (2) 퍼지 싱글톤을 이용한 퍼지 제어기

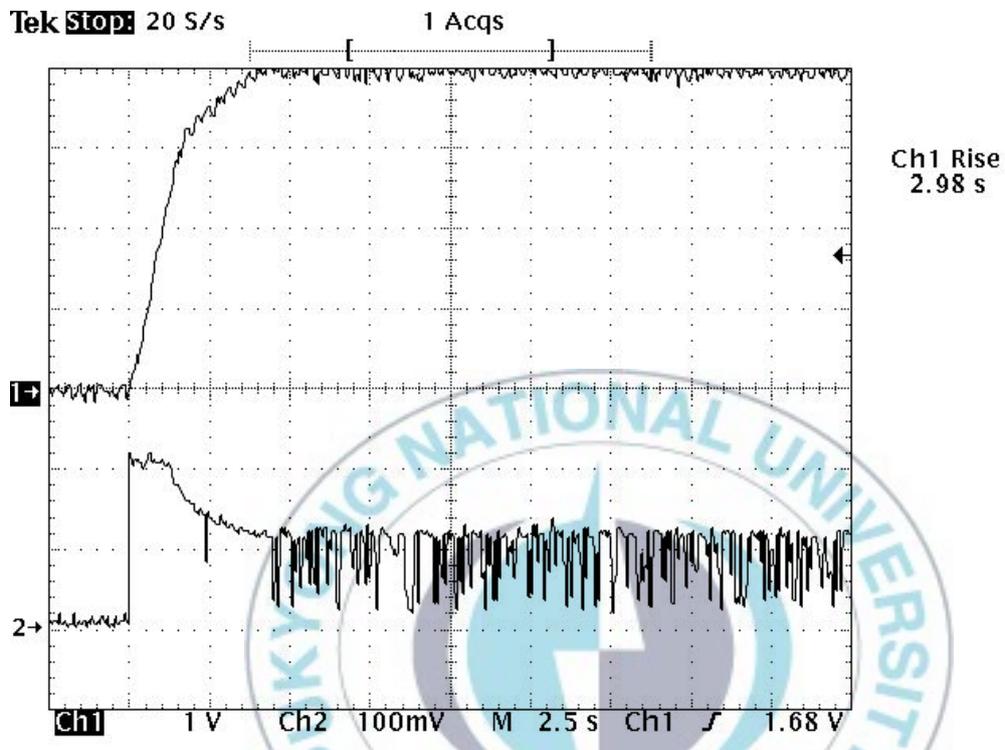
퍼지 싱글톤이란 일반적인 퍼지 집합과 달리 ON-OFF로 표현되는 것을 말하며 그림 3.10의 (a)를 보면 과도 응답에서부터 퍼지제어기가 쓰이므로 인해 속응성이 느려지는 것을 알 수 있다. 그림 3.10의 (b)는 기존의 퍼지제어기에 반해 속응성이 향상되고, 2000[rpm]에서도 정상상태 오차와 점근기울기가 사라지는 것을 알 수 있다.





(a) 기준 속도 1000[rpm]

그림 3.10 퍼지 싱글톤을 이용한 퍼지제어기 출력 (부하 100[A])



(b) 기준 속도 2000[rpm]

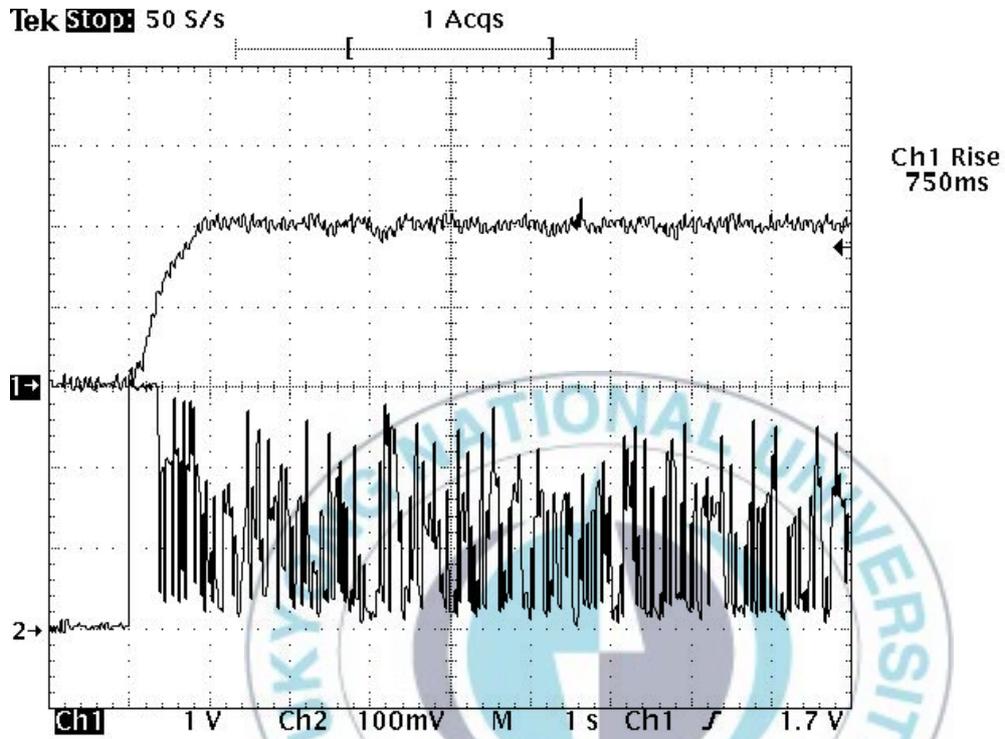
그림 3.10 퍼지 싱글톤을 이용한 퍼지제어기 출력 (부하 100[A])

### (3) 개별 이동 평균법을 이용한 퍼지 제어기

퍼지 싱글톤을 이용하며, 우선 속도 정보를 1 ms마다 5개의 이동 평균을 구하여 오차와 오차 변화율을 각각 구한다. 개별이라는 말의 의미는 지금까지는 5 ms마다 앞의 개념들을 써서 속도 오차를 구한 후 오차 변화율을 구했는데, 여기서는 1 ms에서 속도 정보뿐 아니라 오차 변화율을 모두 구해서, 5 ms에서 개별적으로 5개의 이동 평균을 취하는 것이다. 속도 오차는 속도 정보의 이동 평균에서 구할 수 있다.

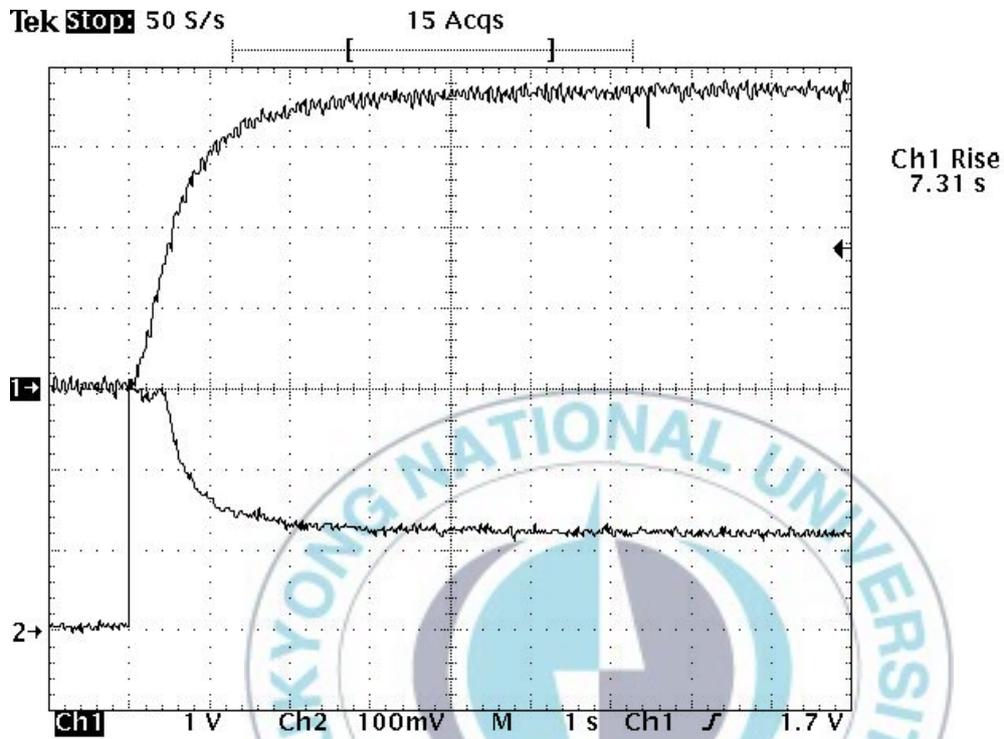
그 응답을 보면, 기준 속도가 1000[rpm]에서의 속응성은 상당히 개선되나, 2000[rpm]에서는 정상상태 오차가 발생하는데 이는 그림 3.11(a)처럼 출력 퍼지 스케일이 맞지 않기 때문이다.





(a) 기준 속도 1000[rpm]

그림 3.11 개별이동평균법을 이용한 퍼지제어기의 출력 (a) (부하 100 [A])



(b) 기준 속도 2000[rpm]

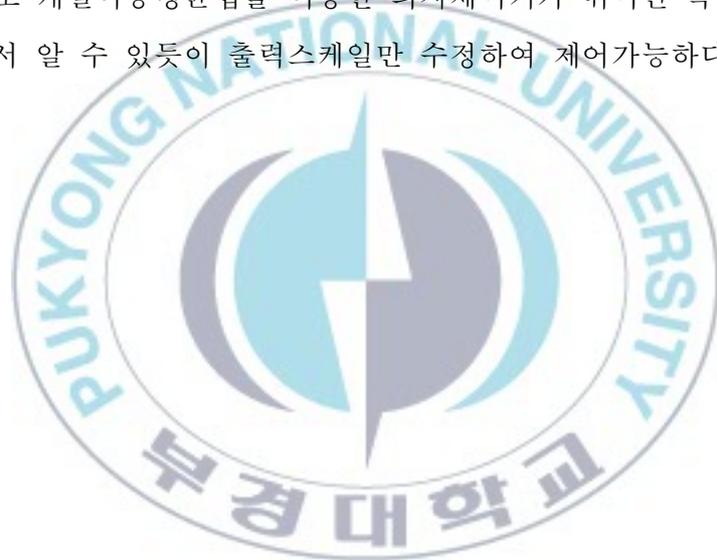
그림 3.11 개별이동평균법을 이용한 퍼지제어기의 출력 (b) (부하 100 [A])

### 3.3.3 실험결과

정상상태 오차는 위의 퍼지제어기에서 일정이상의 조건만을 만족하면 발생하지 않았다.

그림 3.12는 부하가 100[A]이고 기준속도가 다를 때, 각각의 퍼지제어기에 따른 속응성을 보여주고 있다. 여기서 보면 개별이동평균법에 따른 응답이 가장 좋다는 것을 알 수 있다. 그러나 2000[rpm]의 응답에 있어서 개별이동평균법을 이용한 퍼지제어기는 출력스케일이 작아 수렴하지 않았다.

그림에서 알 수 있듯이 일반적으로 퍼지 출력스케일이 증가하면 속응성은 향상된다. 그러나 일정 수준 이상에서는 속응성이 저하되는 것을 알 수 있다. 전반적으로 개별이동평균법을 이용한 퍼지제어기가 뛰어난 속응성을 나타낸다. 여기서 알 수 있듯이 출력스케일만 수정하여 제어가능하다는 것을 알 수 있다.



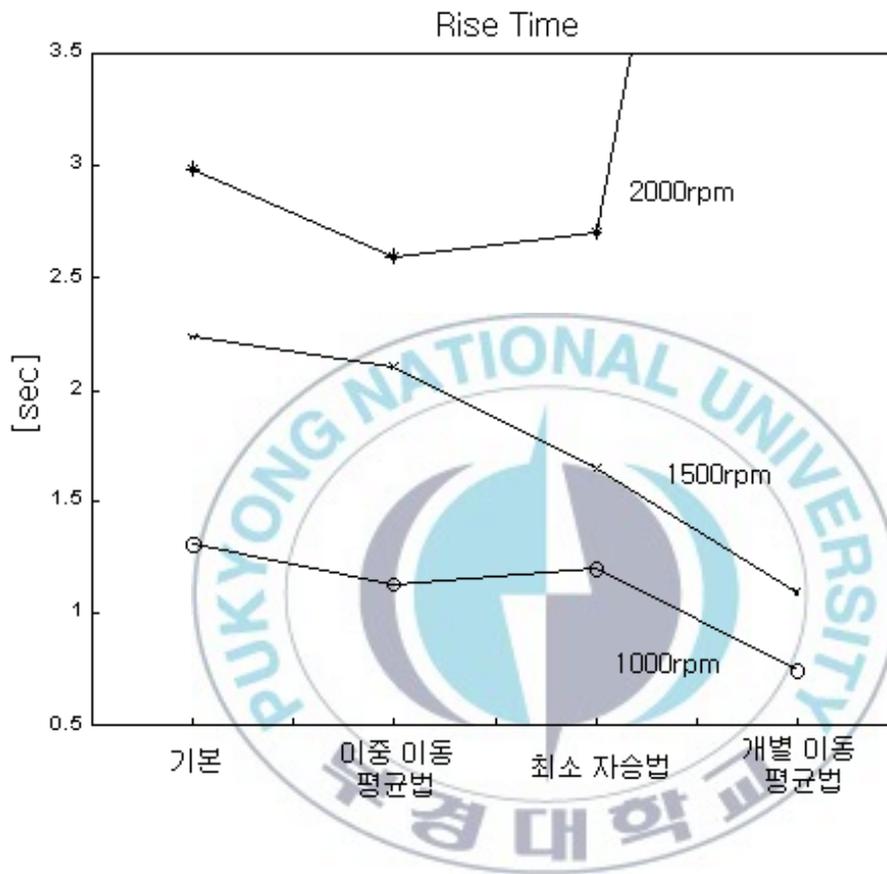
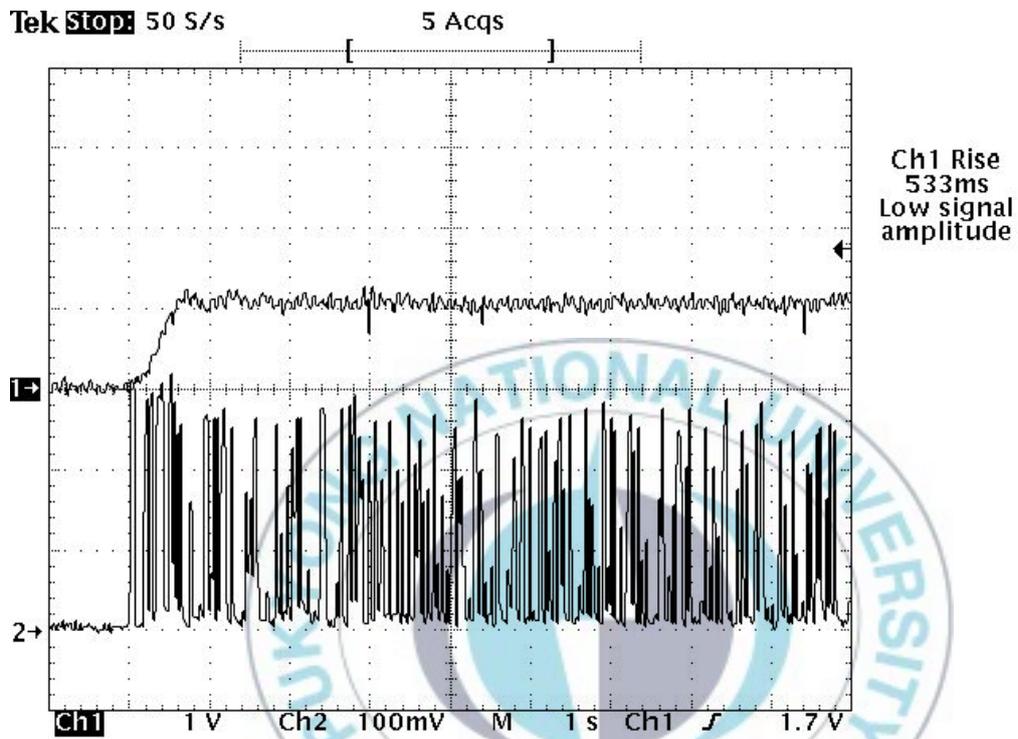


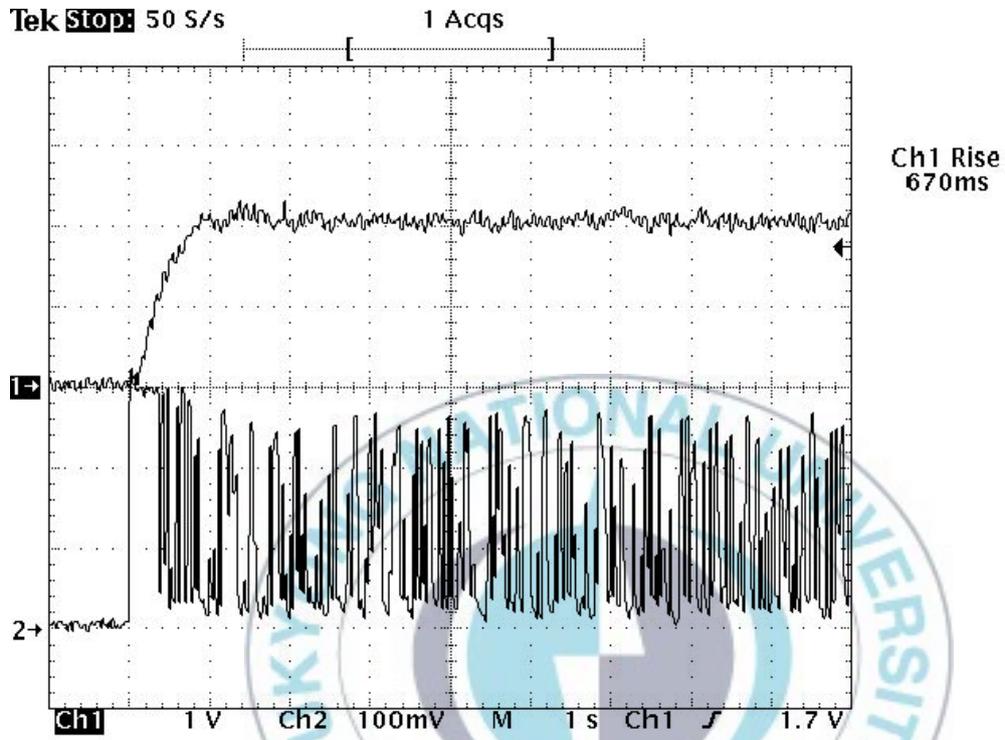
그림 3.12 기준 속도에 따른 속응성 (부하 100[A])

그림 3.13은 부하를 100[A]로 유지하고 기준 속도를 변화시킬 때 개별 이동 평균법을 이용한 퍼지 제어기의 응답을 보여주고 있다. 결과를 보면 퍼지 제어기는 기준 속도와 부하의 변동에 대해 속응성은 변하나 추종 성능인 정상상태 오차는 발생하지 않는다.





(a) 부하 100[A], 기준속도 500[rpm]



(b) 부하 100[A], 기준속도 1000[rpm]

그림 3.13 개별 이동평균법을 이용한 퍼지제어기의 응답

표 3 PI 제어와 퍼지제어의 응답비교

조건	제어기	PI 제어기	퍼지 제어기
		100[A]	100[A]
상승시간(sec)		0.825	0.670
정상상태 오차(rpm)		20	0
점근기울기(rpm/sec)		0	0

## 제 4 장 결 론

먼저 PI 제어기( $k_p=5, k_I=0.5$ )의 그 응답 특성을 살펴보면, 그림 3.7에서 보듯이 속도 변화에 적응하지 못하는 것을 알 수 있으며, 부하의 증가에도 적응하지 못하는 것을 알 수 있는데, 부하가 증가하면 정상상태 오차는 더욱 커진다. 그림 3.8를 보면 부하가 커짐에 따라 지연이 일어나 속응성이 나빠짐을 알 수 있다.

퍼지 제어기는 동조된 소속함수가 부하의 변동에도 재 조절이 필요 없으며, 출력 스케일 조절만으로도 부하의 변동에 대처할 수 있었다. 퍼지 제어기는 속도 피드백에 노이즈가 존재함으로써 오차변화율에 영향을 미쳐 전류 리플이 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 노이즈의 영향을 줄이기 위해 단일 이동 평균법, 그리고 개별 이동 평균법 등을 적용했으며, 그 결과 개별 이동 평균법이 가장 우수한 성능을 보였다. 앞으로 퍼지 제어기에서 발생하는 전류 리플을 줄이기 위해 PI형 퍼지 제어기의 연구가 필요하다.

표 3은 기준 속도가 1000[rpm]이며, 부하는 100[A]에 대한 PI 제어기의 응답(그림 3.6(a))과 개별 평균법을 이용한 퍼지 제어기의 응답(그림 3.13(b))을 비교한 것이다. 여기서 퍼지 제어기가 PI 제어기보다 속응성이 좋으며, 정상상태 특성이 우수함을 알 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of fuzzy algorithm for servo systems",  
IEEE Control System Magazine, pp. 65-71, 1989
- [2] 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, 1991
- [3] Sang-Rae Lee and Kwang-Won Lee, "A new variable structure position control for DC motor using fuzzy logic," KIEE Trans, Vol. 41, No. 6, pp. 625-632, 1992
- [4] TMS320C24X DSP Controllers Reference Set-Volume 1Texas Instruments, 1997
- [5] TMS320C24X DSP Controllers Reference Set-Volume 2Texas Instruments, 1997
- [6] 채석, 오영식, 퍼지이론과 제어, 청문각, 1995
- [7] Rainer Palm, Dimiter Driankov, Hans Hellendoorn, Model Based Fuzzy Control, Spriger, 1997
- [8] David B. fogel, Evolutionary Computation, IEEE PRESS, 1995
- [9] TMS320C2x/C2xx/C5x Optimizing C Compiler-User's Guide, Texas Instrument, 1995
- [10] Dimiter Driankov, Hans Hellendoorn, Michael Reinfrank, An Introduction to Fuzzy Control, Springer, 1996
- [11] TMS320C5x C Source Debugger-User's Guide, Texas Instrument, 1994

- [12] TMS320C1x/C2x/C2xx/C5x Assembly Language Tools-User's Guide, Texas Instrument, 1995
- [13] B. Kosko, Neural Networks and Fuzzy Systems, Prentice Hall, 1992
- [14] 부산대 컴퓨터응용기술산학공동연구소, 퍼지제어를 이용한 직류모터용 속도제어기 개발, 1996

