

퍼지논리를 사용한 엔진 동력계 시스템의 트로틀 밸브 제어기 설계 및 구현

Design and Implementation of a Throttle Valve Controller for Engine Dynamometer Systems using Fuzzy Logic

신 위재, 이상윤
(Wee-Jae Shin and Sang-Yun Lee)

Abstract : This paper shows a design and implementation of throttle valve controller for engine dynamometer system using fuzzy logic. Recently, we demanded the excellent measuring equipment so as to improve engine performance. The throttle valve control for engine dynamometer system is a very particular part in the engine control. Since the structure of engine dynamometer system is very complicated and has nonlinear elements which are influenced by disturbance of vibration, heating, cooling, and energy loss so on. In this paper, fuzzy logic control application have been successful in throttle valve control problem for engine dynamometer system in which the conventional control had difficulties dealing with the system. In this study, we propose a method that the control strategy uses Fuzzy Look-up table and normalization and obtained the satisfying result from realized throttle valve controller for engine dynamometer system.

Keywords : P-I type fuzzy control, dynamometer

I. 서론

국내 자동차 산업이 급속도로 성장을 하고 국민들의 생활 수준이 높아지면서 자동차의 보유율이 급속도로 증가하고 있다. 이러한 추세에 맞추어 자동차 제조업체에서 해마다 새로운 모델의 자동차를 개발하고, 중요한 부품을 국산화하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 엔진의 성능을 개선하기 위해서는 우수한 측정장비가 요구된다. 특히 엔진 동력계 시스템의 트로틀 밸브 제어는 엔진 제어에 있어서 대단히 중요하다[1]. 왜냐하면 엔진 동력계 시스템의 구조는 매우 복잡하고, 진동, 열, 냉각 그리고 에너지 손실등 으로 인한 비선형적인 요소를 포함하고 있다. 그러므로 전통적인 제어 이론으로 다루기 어려운 엔진 동력계 시스템의 트로틀 밸브 제어문제에 퍼지 논리를 응용한 P-I형 퍼지제어기를 이용한다[2].

본 연구는 기계식 엔진과 전자식 엔진 둘 다에 적용할 수 있고, 기존의 수동식 측정 방식 대신 자동측정 방식을 도입하였으며 제어 알고리즘의 컴퓨터 제어 구현을 위해 기존 마이크로프로세서의 연산 능력을 보완하고, 산업용 컴퓨터보다는 가격이 저렴한 범용 IBM - PC 호환 기종을 사용하여 제어기를 구성하였다. 또한 범용 IBM - PC 호환 기종의 사용으로 관측 자료 처리 이전성을 원활하게 하였다. 엔진 동력계 트로틀 밸브 제어용 비례 적분 제어 알고리즘에 있어서 비례 및 적분이득 조절에 퍼지 논리를 사용하였으며, 실험을 통해서 퍼지 논리로부터 구한 이득을 적용함으로써 엔진 동력계 공회전 상태와 부하시의 동작 상태에서 엔진 동력계 회전수가 목표 회전수에 도달하는 응답특성을 고찰하고자 한다.

II. 엔진 동력계 시스템의 구성 여백

엔진 동력계 시스템의 구조는 제어기 부분, 엔진 동력계 부분, 인터페이스 부분, 시스템 관리 부분의 4부분으로 나누고 그림 1에 도시하였다. 제어기 부분은 IBM - PC 호환 기종과 A/D 콘버터 카드로 구성되고, IBM-PC는 P-I형 퍼

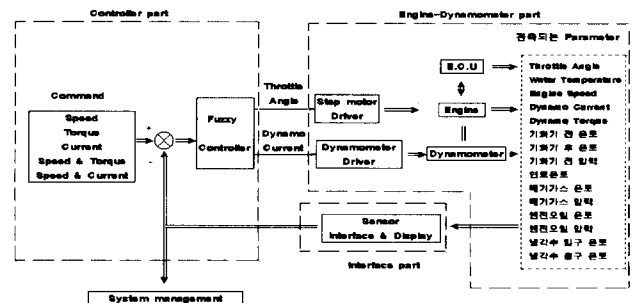


그림 1. 엔진 동력계 시스템의 블록다이어그램.
Fig. 1. Block diagram of engine dynamometer system.

지제어기, 시스템의 운영을 관리하는 소프트웨어로 이루어지며, A/D 콘버터 카드는 센서 인터페이스 부분으로부터 관측된 파라미터를 읽어 들이고, 제어기에서 제어 출력인 트로틀 밸브 각, 동력계 전류를 엔진 동력계의 스테핑 모터 구동기와 동력계 구동기로 전송한다[3]. 엔진 동력계 부분은 제어 출력인 전기적 신호를 기계적 동작으로 변환시키는 액츄에이터와 엔진, 동력계로 이루어진다. 스테핑 모터 구동기는 전기적 신호로 트로틀 밸브의 각도를 변화시키고, 동력계 구동기는 토크를 생성한다. 관측된 신호는 그림 1의 오른쪽에 나타내었다. ECU, 엔진, 동력계의 중요 관측 부분에 센서를 장착하여 신호를 측정하여 보정회로에 의해 보정한 다음 이 신호를 전자기 방해(EMI)의 영향을 적게 받은 전류 신호로 바꾸어 센서 인터페이스 부분으로 전송한다 [3][4].

III. 엔진 동력계 트로틀 밸브 P-I형 퍼지 제어기

엔진 동력계 시스템에 적용된 트로틀 밸브 퍼지 제어기는 그림 2의 블록 선도로 도시하였고, 첨자의 의미는 다음과 같다.

- $r(k)$: 희망하는 엔진 속도 설정치.
- $y(k)$: 현재 엔진 속도.
- $e(k)$: 설정치와 현재속도 사이의 정규화된 오차.

$e(k-1)$: 과거의 정규화된 오차.
 $\dot{e}(k)$: 현재오차와 과거오차 사이의 변화율.
 $u(k)$: 현재 트로틀 밸브 위치.
 $u(k+1)$: 새로 추론된 트로틀 밸브 위치.

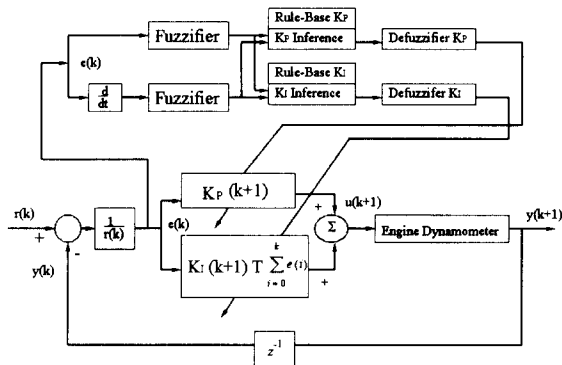


그림 2. 엔진 동력계 시스템에 적용된 트로틀 밸브 퍼지 제어기.

Fig. 2. Throttle valve fuzzy controller applied engine dynamometer system.

정규화된 오차 $e(k)$ 는 설정치 $r(k)$ 가 변화해도 Scale factor를 수정해서 퍼지화 비율을 조절할 필요가 없어진다. 즉 변화하는 $r(k)$ 값을 기준으로 상대적인 오차를 구해서 사용함으로써 기존의 제어기 설계시 설정치가 바뀌면 Scale factor를 다시 수정하는 불편을 막아 준다. 이러한 내용을 수식으로 표현하면 (1)과 같다.

$$e(k) = \frac{r(k) - y(k)}{r(k)} \quad (1)$$

$$\dot{e}(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

$e(k)$ 와 $\dot{e}(k)$ 의 퍼지화는 표 1의 양자화 방법표를 사용하여 구하였고, 퍼지변수의 소속함수는 표 2의 이산화된 소속함수 표를 사용하였다. 여기서 사용된 퍼지변수는 Zero를 중심으로 +, - 방향으로 6단계로 나누어서 전체 13개를 사용 하였다. 그리고 0 양자화 수준이 0이 아니고 ± 0.05 으로 사용한 것은 제어 알고리즘 구현시 A/D Card의 양자화 오차와 센서의 잡음으로 정확하게 정규화된 오차나 오차의 변화율이 0이 되지않는다. 그러므로 양자화 수준 0에 offset을 주어서 이 범위안에 $e(k)$ 나 $\dot{e}(k)$ 가 들어오면 0에 수렴한 것으로 하기 위해서이다.

표 1. 퍼지화의 양자화 방법.

Table 1. Quantization method of fuzzifier.

Quant. Level	정규화된오차	정규화된오차의 변화율
-6	$e(k) \geq 0.5$	$\dot{e}(k) \geq 0.25$
-5	$0.5 > e(k) \geq 0.4$	$0.25 > \dot{e}(k) \geq 0.20$
-4	$0.4 > e(k) \geq 0.3$	$0.20 > \dot{e}(k) \geq 0.15$
-3	$0.3 > e(k) \geq 0.2$	$0.15 > \dot{e}(k) \geq 0.10$
-2	$0.2 > e(k) \geq 0.1$	$0.10 > \dot{e}(k) \geq 0.05$
-1	$0.1 > e(k) \geq 0.05$	$0.05 > \dot{e}(k) \geq 0.001$
0	$0.05 > e(k) > -0.05$	$0.001 > \dot{e}(k) > -0.001$
1	$-0.05 \geq e(k) > -0.1$	$-0.001 \geq \dot{e}(k) > -0.05$
2	$-0.1 \geq e(k) > -0.2$	$-0.05 \geq \dot{e}(k) > -0.10$
3	$-0.2 \geq e(k) > -0.3$	$-0.10 \geq \dot{e}(k) > -0.15$
4	$-0.3 \geq e(k) > -0.4$	$-0.15 \geq \dot{e}(k) > -0.20$
5	$-0.4 \geq e(k) > -0.5$	$-0.20 \geq \dot{e}(k) > -0.25$
6	$-0.5 \geq e(k)$	$-0.25 \geq \dot{e}(k)$

표 2. 퍼지 변수의 소속함수 표.

Table 2. Membership function table of fuzzy variable.

	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
PVL	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PL	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PB	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PM	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PS	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PVS	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZERO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
NVS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0
NS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0
NM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0
NB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3
NL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7
NVL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0

본 논문에서 사용한 제어 알고리즘은 퍼지제어 규칙 행렬을 기초로 하여 Tzafestas 제어 행렬을 변형시켜 P, I 각각의 Look-up Table 규칙을 구성하였다[2]. 그리고 P-I형 퍼지제어기의 제어 규칙은 다음과 같이 기술된다.

R_k : If $e(k)$ is $A(k)$ and $\dot{e}(k)$ is $B(k)$ then

$$u(k+1) = e(k)K_p(k+1) + K_i(k+1)T \sum_{n=0}^k e(n) + u(k) \quad (3)$$

여기서 $e(k)$, $\dot{e}(k)$, $A(k)$, $B(k)$ 는 각각 정규화된 오차, 오차의 변화율, 제어 입력 공간에서 정의된 퍼지집합이며, 그리고 T는 샘플링 시간이다.

앞에서 언급한 Tzafestas의 퍼지논리 제어 행렬을 이용하여 기존의 이득 조정 기술에서 얻은 P-I형 퍼지제어기의 적절한 이득값을 기준으로, 시스템 응답이 과도 상태에 있을 때 시스템이 안정한 범위 내에서 이득값을 조금씩 조정하여 시스템의 응답특성을 향상시켰다. 이때 사용한 퍼지 제어 행렬은 Macvicar-Whelan 제어 행렬로서 P, I 이득조정에 이용하였다[2].

P-I형 퍼지제어기의 각 이득값은 (4), (5)에 의해 구하여진다.

$$K_p(k+1) = K_p(k) + PCV[e(k), \dot{e}(k)] * k_p \text{ (비례이득값)} \quad (4)$$

$$K_i(k+1) = K_i(k) + ICV[e(k), \dot{e}(k)] * k_i \text{ (적분이득값)} \quad (5)$$

여기서,

PCV[$e(k)$, $\dot{e}(k)$] : 트로틀 밸브 퍼지 제어기의 비례 이득 추론값

ICV[$e(k)$, $\dot{e}(k)$] : 트로틀 밸브 퍼지 제어기의 적분 이득 추론값

k_p : 비례 제어기 변화율

k_i : 적분 제어기 변화율

k_p, k_i 는 안정도 분석과 폐루프 응답의 특성을 고려하여 적절하게 결정한다.

트로틀 밸브 P-I형 퍼지 제어기의 비례 이득 추론값, PCV[$e(k)$, $\dot{e}(k)$]과 트로틀 밸브 퍼지 제어기의 적분 이득 추론값 ICV[$e(k)$, $\dot{e}(k)$]을 구하는 순서를 아래에 설명하였다.

k번째 측정된 오차 및 오차 변화율과 제어 규칙과의 적합도는 (6)과 (7)로 구해진다.

$$w_p(k) = \min(\mu_{A_i}(e(k)), \mu_{B_j}(\dot{e}(k))) \quad (6)$$

$$w_i(k) = \min(\mu_{A_i}(e(k)), \mu_{B_j}(\dot{e}(k))) \quad (7)$$

(6)와 (7)으로부터 k번째 규칙에 의한 입력 증분의 퍼지 집합을 나타내는 퍼지집합은 (8)과 (9)로 나타난다.

$$\mu_{P_i}(e(k), \dot{e}(k))(PGM[e(k), \dot{e}(k)]) = \min(w_i(k), \mu_{P_i}(e(k), \dot{e}(k)))(PGM[e(k), \dot{e}(k)]) \quad (8)$$

$$\mu_{I_i}(e(k), \dot{e}(k))(IGM[e(k), \dot{e}(k)]) = \min(w_i(k), \mu_{I_i}(e(k), \dot{e}(k)))(IGM[e(k), \dot{e}(k)]) \quad (9)$$

여기서 $PGM[e(k), \dot{e}(k)], IGM[e(k), \dot{e}(k)]$ 은 표 3과 표 4의 비례 및 적분 이득 행렬로부터 구하고, 이 퍼지 변수의 소속함수를 $\mu_{P[e(k), \dot{e}(k)]}(PGM[e(k), \dot{e}(k)])$ 으로 표현한다.

퍼지제어의 추론 결과는 제어 입력 전체집합에 정의된 퍼지집합으로 출력되며, 퍼지집합은 조작량으로서 제어 대상을 제어할 수 없다.

비퍼지화 방법에는 여러가지가 있으며, 무게 중심법(Center of area method)을 구하는 연산자에 의해 (10), (11)로 구해지고 최종적으로 적분기에 가산될 입력은

$$PCV^*[e(k), \dot{e}(k)] = COG(P'[e(k), \dot{e}(k)]) \quad (10)$$

$$ICV^*[e(k), \dot{e}(k)] = COG(I'[e(k), \dot{e}(k)]) \quad (11)$$

$$PCV[e(k), \dot{e}(k)] = \frac{\sum_{k=1}^n w_p(k) PCV^*[e(k), \dot{e}(k)]}{\sum_{k=1}^n w_p(k)} \quad (12)$$

$$ICV[e(k), \dot{e}(k)] = \frac{\sum_{k=1}^n w_i(k) ICV^*[e(k), \dot{e}(k)]}{\sum_{k=1}^n w_i(k)} \quad (13)$$

로 계산된다.

표 3과 표 4의 제어규칙을 결정하기 위해 전문가의 경험과 제어 지식을 도입하는 방법, 작업자의 기능을 추출하는 방법, 프로세서의 퍼지 모델을 사용하는 방법, 제어기에 학습기능을 추가하는 방법등이 있다.

이중에서 전문가의 경험과 제어 지식을 도입하는 방법인 시스템의 단위 계단응답의 오차, 오차의 변화율로부터 계단응답이 설정치에 수렴하도록 설계 하였다.

표 3. 비례이득 행렬.

Table 3. Proportional gain matrix(PGM).

		$\dot{e}(k)$															
		NVL	NL	NB	NM	NS	NVS	ZO	PVS	PS	PM	PB	PL	PVL			
$e(k)$	PVO	0	NVS	NVS	NS	NS	NM	NM	NB	NB	NL	NL	NVL	NVL			
	PL	PVS	0	NVS	NVS	NS	NS	NM	NM	NB	NB	NL	NL	NVS			
	PB	PVS	PVS	0	NVS	NVS	NS	NS	NM	NM	NB	NB	NL	NL			
	PM	PS	PVS	PVS	0	NVS	NVS	NS	NS	NM	NM	NB	NB	NL			
	PS	PS	PS	PVS	PVS	0	NVS	NVS	NS	NS	NM	NM	NB	NB			
	PVS	PM	PS	PS	PVS	PVS	0	NVS	NVS	NS	NS	NM	NM	NB			
	ZEO	PM	PM	PS	PS	PVS	PVS	0	NVS	NVS	NS	NS	NM	NM			
	NVS	PB	PM	PM	PS	PS	PVS	PVS	0	NVS	NVS	NS	NS	NM			
	NS	PB	PB	PM	PM	PS	PS	PVS	PVS	0	NVS	NVS	NS	NS			
	NM	PL	PB	PB	PM	PM	PS	PS	PVS	PVS	0	NVS	NVS	NS			
	NB	PL	PL	PB	PB	PM	PM	PS	PS	PVS	PVS	0	NVS	NVS			
	NL	PVL	PL	PL	PB	PB	PM	PM	PS	PS	PVS	PVS	0	NVS			
	NVL	PVL	PVL	PL	PL	PB	PB	PM	PM	PS	PS	PVS	PVS	0			

표 4. 적분이득 행렬.

Table 4. Integral gain matrix(IGM).

		$\dot{e}(k)$															
		NVL	NL	NB	NM	NS	NVS	ZO	PVS	PS	PM	PB	PL	PVL			
$e(k)$	PVO	0	PVS	PVS	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PL	PL	PVL	PVL			
	PL	NVS	0	PVS	PVS	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PL	PL	PVL			
	PB	NVS	NVS	0	PVS	PVS	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PL	PL			
	PM	NS	NVS	NVS	0	PVS	PVS	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PL			
	PS	NS	NS	NVS	NVS	0	PVS	PVS	PS	PS	PM	PM	PB	PB			
	PVS	NM	NS	NS	NVS	NVS	0	PVS	PVS	PS	PS	PM	PM	PB			
	ZEO	NM	NM	NS	NS	NVS	NVS	0	PVS	PVS	PS	PS	PM	PM			
	NVS	NB	NM	NM	NS	NS	NVS	NVS	0	PVS	PVS	PS	PS	PM			
	NS	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NVS	NVS	0	PVS	PVS	PS	PS			
	NM	NL	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NVS	NVS	0	PVS	PVS	PS			
	NB	NL	NL	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NVS	NVS	0	PVS	PVS			
	NL	NVL	NL	NL	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NVS	NVS	0	PVS			
	NVL	NVL	NVL	NL	NL	NB	NB	NM	NM	NS	NS	NVS	NVS	0			

IV. 실험 및 결과 고찰

1. 실험 장치

본 연구에 사용한 엔진 동력계 시스템은 그림 1과 같이 구성 하였으며 제작한 제어반(Control desk)은 그림 3과 같다.

실험에 사용된 엔진은 4사이클 4실린더 수냉식 실험용 가솔린 엔진으로 기본 제원은 표 5와 같으며, 이 엔진을 MPI 방식으로 개조하여 사용하였다.

트로틀 밸브의 구동은 스테핑 모터를 사용하여 구성하였으며 높은 토오크가 요구됨으로 히스테리시스를 사용한 2전원 구동방식으로 구동기를 설계하여 사용하였다[5].

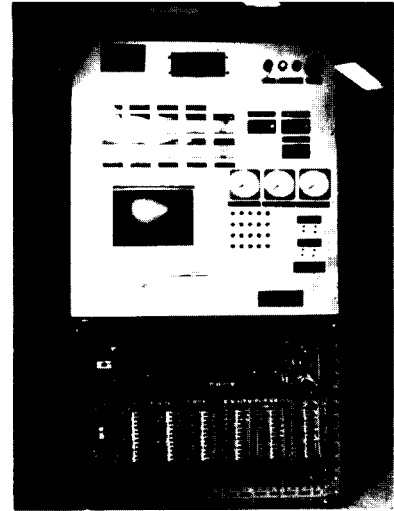


그림 3. 제어반 사진.
Fig. 3. Control desk.

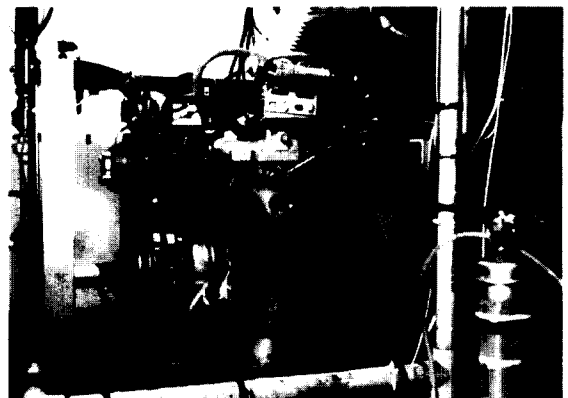


그림 4. 사용된 엔진의 사진.
Fig. 4. Photo of engine used.

표 5. 사용된 엔진의 사양.

Table 5. Specifications of engine used.

Item	Specifications
Model & Maker	GWE-30-50-GS-DVU, NISSAN
Type	Four Cylinder Four Stroke Cycle Water Cooling Type
Displacement	1138 cc
Bore × Stroke	73 × 68 mm
Output (Normal)	30 / 3200 (PS/rpm)
Used Fuel	Unlead Gasoline



그림 5. 트로틀 밸브 구동기.
Fig. 5. Throttle valve driver.

부하 토오크의 측정은 부하 측정용 아암에 로드셀(Load Cell)을 설치하여 부하를 측정할 수 있게 하였다. 또 회전수의 측정은 로터축에 부착된 회전슬릿의 펄스신호를 이용하여 디지털 회전계(Digital tachometer)에 표시하고 F-V 변환기를 사용하여 속도를 측정 하였다.

퍼지 속도제어 알고리즘의 구현은 Matlab 4.2를 사용하였고, 하드웨어와의 인터페이스는 Borland C 4.0을 사용하였으며, A/D 카드는 PC-Lab Card PCL-812로서 변환 속도가 35 μ s HADC574Z 대신에 15 μ s인 HAD674AJD를 장착하여 적용하였다[5].

실험에서 알고리즘 수행에 소요된 시간은 최소 2.03초에서 최대 3.41초이다. 이 시간은 트로틀 밸브의 구동기로 스테핑 모터를 사용한 관계로 대부분이 스테핑모터의 구동시간이다. 그리고 제어 알고리즘을 수행하는 시간은 약 60ms가 소비되었다.

1. 실험 결과

그림 6은 무부하시의 실험결과로 엔진 속도가 설정치 2500rpm에 도달하는데 151.05초가 걸렸고, 9rpm(0.36%)의 오차를 가진다. 그림 7은 엔진 속도와 토오크에 관한 실험 결과로 토오크가 4.7 Kg-m 근처를 유지하고 있다.

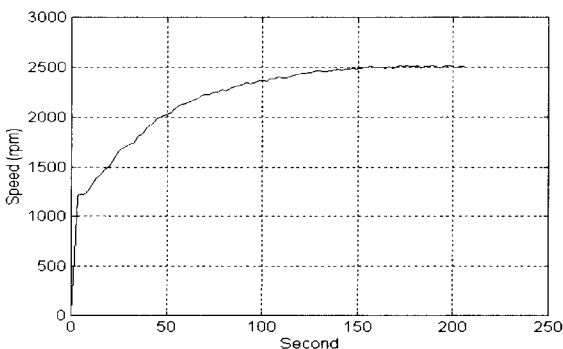


그림 6. 무부하시 정속도제어 응답.
Fig. 6. Constant speed response without load.

이 사실로 엔진 토오크가 안정되어 있다는 것을 알 수 있다. 그림 8에서 그림 12까지는 무부하시 정속도 제어 실험시 각부 센서에서 관측된 신호들을 도시한 것이다.

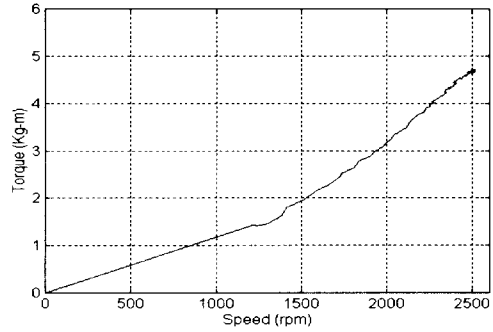


그림 7. 무부하시 엔진 동력계의 속도에 대한 토오크 응답.
Fig. 7. Speed versus Torque response without load.

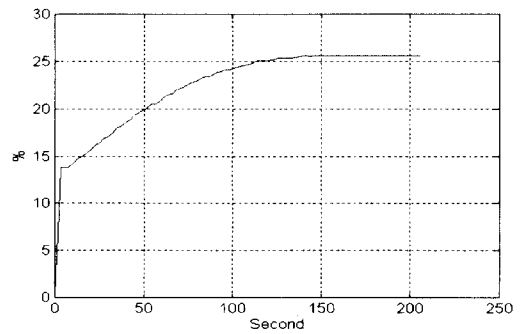


그림 8. 무부하시 트로틀 밸브 위치.
Fig. 8. Throttle position without load.

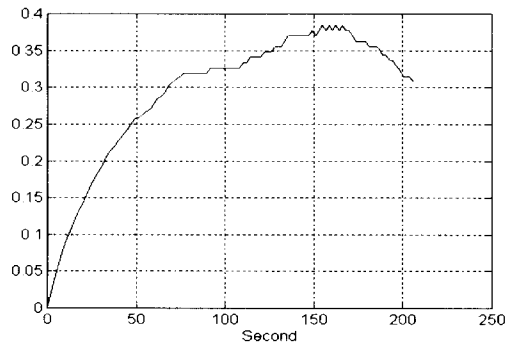


그림 9. 무부하시 비례 이득.
Fig. 9. Proportional gain without load.

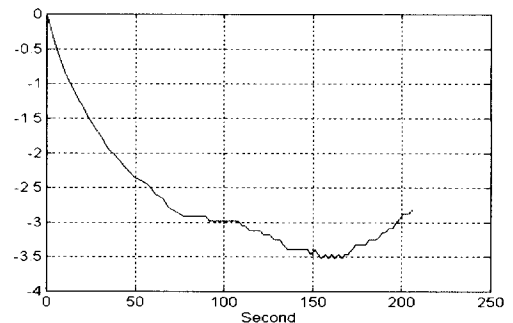


그림 10. 무부하시 적분 이득.
Fig. 10. Integral gain without load.

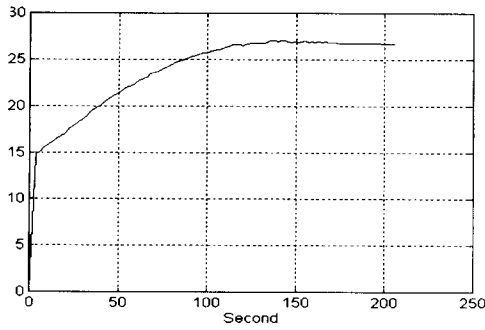


그림 11. 무부하시 제어 입력.
Fig. 11. Control input without load.

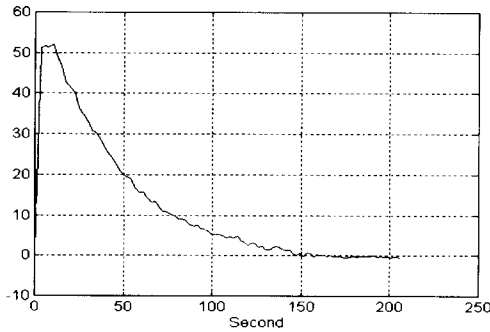


그림 12. 무부하시 오차.
Fig. 12. Error without load.

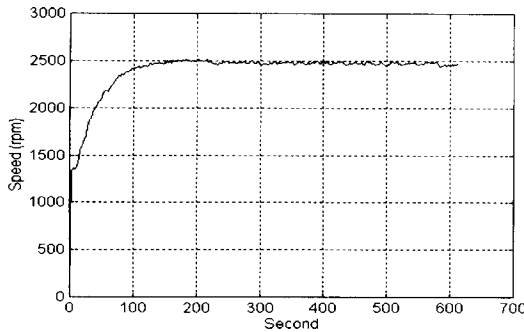


그림 13. 부하시 정속도제어 응답.
Fig. 13. Constant speed response with load.
(4.5735Kg-m ~ 6.0Kg-m)

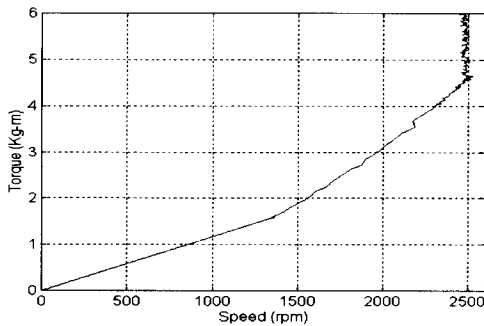


그림 14. 부하시 엔진 동력계의 속도에 대한 토오크 응답.
Fig. 14. Speed versus Torque response with load.
(4.5735Kg-m ~ 6.0Kg-m)

부하를 달았을때 속도와 토오크에 관해서 도시한 것이

그림 13이다. 그리고, 그림 13은 2500rpm에 도달하는데 161.42초가 걸렸고, 부하 토오크를 4.5735Kg-m에서 6.0Kg-m로 증가시켰을 때, 엔진 속도는 53rpm(2.12%)의 오차를 가졌다. 부하 토오크를 변화시켰을 때 속도가 떨어지지만, 즉시 원하는 설정치로 회복하였다. 그림 14로부터는 부하의 증가에 따르는 속도의 추종성을 잘 관측할 수 있다. P-I형 퍼지 제어기에서 사용한 k_p, k_i 의 값은 페루프 응답이 안정화 되도록 시행착오 방식으로 구하였다. 이때 구해진 값은 무부하시 $k_p = 0.0063$ Without load, $k_i = 0.0579$ Without load이 선택 되었고, 부하를 걸었을때(4.5735Kg-m에서 6.0Kg-m까지) $k_p = 0.0065$ Load, $k_i = 0.0569$ Load이 선택 되었다. 비례이득(PCV[$e(k), \dot{e}(k)$])과 적분이득(ICV[$e(k), \dot{e}(k)$])은 다음과 같은 값으로 수립 하였다.(PCV[$e(k), \dot{e}(k)$] = 0.3072 Without load ; 0.9741 Load, ICV[$e(k), \dot{e}(k)$] = -2.8089 Without load ; -8.5271 Load) 그리고 그림 15에서 그림 19까지는 부하시 정속도 제어 실험시 각부 센서에서 관측된 신호들을 도시한 것이다.

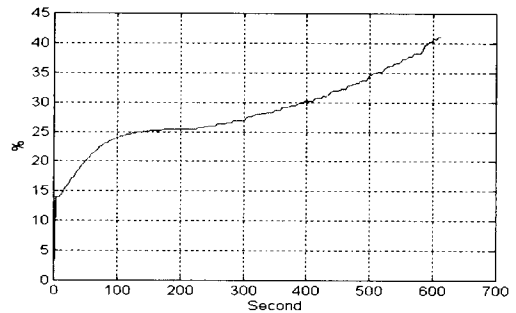


그림 15. 부하시 트로틀 밸브 위치.
Fig. 15. Throttle position with load.
(4.5735Kg-m ~ 6.0Kg-m)

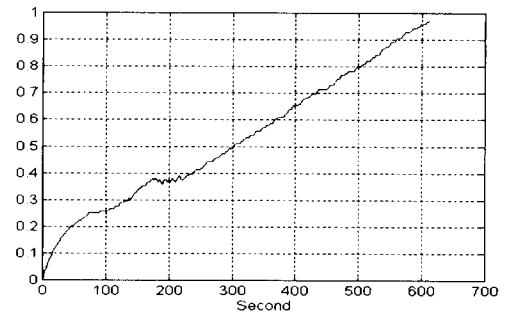


그림 16. 부하시 비례이득.
Fig. 16. Proportional gain with load.
(4.5735Kg-m ~ 6.0Kg-m)

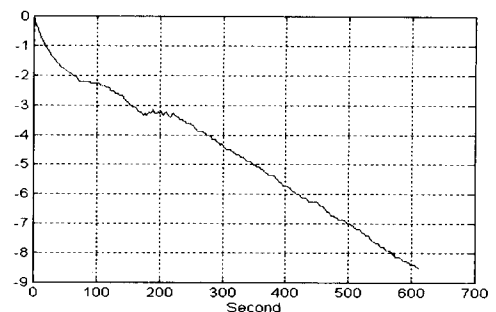


그림 17. 부하시 적분이득.
Fig. 17. Integral gain with load.
(4.5735Kg-m ~ 6.0Kg-m)

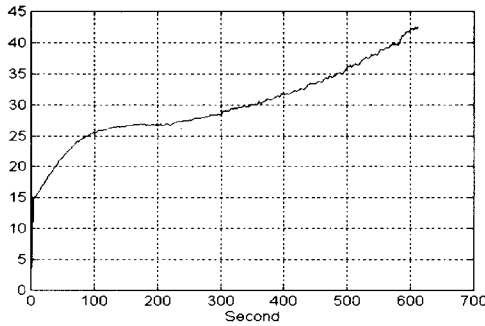


그림 18. 부하시 제어입력.
Fig. 18. Control input with load.
(4.5735Kg-m ~ 6.0Kg-m)

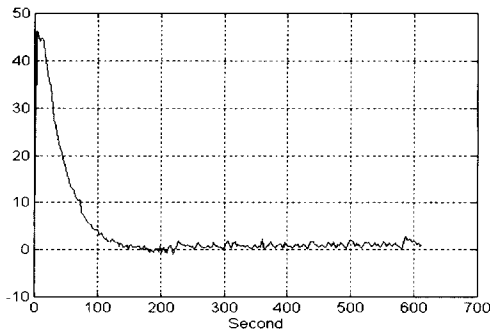


그림 19. 부하시 설정치와 현재속도 사이의 정규화된 오차.
Fig. 19. Normalization error of between the set point and the current speed with load.
(4.5735Kg-m ~ 6.0Kg-m)

V. 결론

본 연구에서는 엔진 동력계 시스템의 트로틀 밸브 퍼지 제어를 설계하고 구현하였으며, 엔진의 다양한 특성을 시험 및 측정 할 수 있고 또한 각 부분을 제어할 수 있는 전자 제어 회로를 개발하였다.

그리고 실험을 통하여 시스템이 잘 동작함을 관측 할 수 있었다. 실험 결과를 분석해 보면 무부하시 엔진 출력의 리플은 토오크의 변화에 영향을 받은 것이고, 부하시에 속도가 낮아졌다가 다시 설정치로 회복을 하지만 리플을 좀더 작게 하려면 부하의 변화를 고려한 퍼지 관계를 개선해야 할 것으로 사료된다.

앞으로의 연구과제는 엔진 동력계 시스템 퍼지 제어기의 퍼지화 단계에서 정규화를 시킴으로서 Scale factor의 조절이 필요없어 졌지만, 퍼지 추론을한후, P-I형 퍼지 제어기의 각 이득값을 계산하는 (3)에서 제어기 변화율을 자동적으로 조절할 수 있는 알고리즘, 그리고 엔진 다이내모메타 속도를 관측하는데 F-V 변환기를 사용하여 회로를 구성하였는데 이 방식은 RC 시정수 회로를 응용한 것으로 Capacitor의 지수함수적인 특성과 저속에서의 리플 발생으로 인한 정확도 문제와, 스테핑모터를 사용한 트로틀밸브 구동장치의 속응성 개선을 위해 DC 서보 모터를 도입해야하며, 제어 알고리즘 수행을 PC에서 부동소점 연산이 가능한 DSP 소자를 사용하여 제어기를 구현해야될 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] Duksun Shim, Jaehong Park, Pramod P. Khar-gonekar, William B. Ribbens, "Engine idel speed control," *Proceedings of The American Control Conference*, Seattle, Washington, pp. 2582-2586, June, 1995.
- [2] S. Tzafetas, N. Papanikolopoulos, "Incremental fuzzy expert PID control," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 37, no. 5, pp. 365- 371, Oct., 1990.
- [3] J. Michael Jacob, *Industrial Control Electronics Application and Design*, Prentice-Hall International Editions, 1989.
- [4] Eric. Chowanietz, *Automobile Electronics*, SAE International, 1995.
- [5] The MATH WORKS Inc., *MATLAB External Interface Guide*, 1994.



신 위 재

1975년 동아대학교 전자공학과 졸업.
1979년 동대학원 석사과정 졸업, 1989년 동대학원 박사과정 졸업(공학박사).
1983년 - 현재 경남대학교 전자공학과 교수, 관심분야는 지능제어.



이 상 운

1986년 금오공대 전자공학과 졸업. 1991년 동대학원 석사과정 졸업. 1995년 - 현재 경남대학교 전자공학과 박사과정 재학중, 관심분야는 지능 제어.