

〈논 문〉

스파크 점화기관의 노킹제어를 위한 퍼지제어기 개발

이재형* · 함윤영** · 장광수*** · 전광민****

(1996년 4월 23일 접수)

The Fuzzy Controller for Spark Ignition Engine Knock Control

Jae-Hyung Lee, Yun-Young Ham, Kwang-Soo Chang and Kwang-Min Chun

Key Words : Knocking(노킹), Cylinder Block Vibration Signal(실린더 블럭 진동신호), Knock Occurance Interval(노킹발생간격), Desired Knock Interval(기대노킹발생간격), Fuzzy Logic(퍼지논리)

Abstract

A variety of approaches have been investigated for the application of spark-ignition engine knock control. The control method implemented, here as "Fuzzy Control," has the advantage of not requiring the knowledge of a mathematical model of the controlled object and is more robust and flexible than conventional approaches. Knock control in this study is performed using vibration signal which is measured with accelerometer attached to the cylinder block of a 1498cc four-cylinder spark-ignition engine. The experimental results obtained with this method are compared with those obtained with a knock interval controller and with those of a conventional controller. Those results illustrate better performance in torque than knock interval controller and conventional controller.

1. 서 론

자동차용 가솔린 엔진에 대한 개발의 역사 중에서 고출력화는 저연비화와 더불어 엔진의 가장 근본적인 목표 성능으로서 많은 연구가 수행되어 왔다. 최근 들어서의 가솔린 엔진의 연비향상을 위한 기술로서는 고압축비화와 소배가량과급엔진, 가변 밸브기구 및 펌프손실저감기술, 기계손실저감기술, 희박연소 및 EGR 기술 등이 있다. 이중 고압축화와 소배기량 과급엔진은 토크 향상 및 열효율 향상을 위한 중요한 기술들이지만 이들 기술은 압축비의 상승으로 인한 노킹(knocking)을 유발하며, 따

라서 사용 압축비의 한계가 노킹한계(knock limit)에 의해 제한되고 있다. 그러므로 엔진의 고출력화를 위한 이러한 기술의 사용을 위해서는 엔진의 Anti-knock 특성을 개선함과 동시에 어떤 수준이하로 노킹발생비율을 유지하기 위해 점화시기를 조절하기 위한 Knock Control System(KCS)을 필요로 한다.^(1,2)

현재의 KCS는 노킹센터, 노킹 검출부(knock detecting part), 제어부(control part)와 점화회로(ignition circuit)로 구성되어 있다. 노킹센서는 엔진의 노킹과 구동부에 의해 야기되는 실린더 블럭 진동의 강도에 비례하는 전기적 신호를 발생하는 일종의 가속도 미터이다. 노킹 검출부는 노킹센서 신호에 함유된 잡음과 노킹신호를 구별하는 역할을 한다. 제어회로는 검출되어진 노킹신호에 따라 적절한 점화시기를 계산하며, 점화회로는 계산된 점화시기에 점화시켜 주는 역할을 한다.⁽³⁾

최근 들어 엔진 제어분야에 종사하는 연구가들은

*회원, 홍익대학교 대학원 기계공학과

**회원, 연세대학교 대학원 기계공학과

***회원, 홍익대학교 기계공학과

****회원, 연세대학교 기계공학과

안정성이나 연료소비, 출력, 운전성, 배기가스제어 등에 있어서 최고의 성능을 얻기 위해 Linear-Quadratic Regulator(LQR)나 Robust Controller와 같은 현대적인 제어기법을 이용하기 시작했다.^(4, 5) 이러한 기법들은 엔진의 수학적 모델(mathe-matical model)을 기초로 하기때문에 서로 상반된 목표사이에서의 trade-off를 선택할 수 있는 성능 지수(performance index)의 최소화를 이끄는 제어 벡터를 선택함으로써 최적화되며, 따라서 목적하는 성능에 도달하는데 효과적이다. 세부적인 정도까지 고려된 몇몇의 엔진모델이 있으나 엔진모델에 있어서 내제한 불확실성(마멸, 생산오차, 자체의 비선형성)과 엔진작동의 부정확한 반복성때문에 엔진 모델의 파라미터를 정확하게 인식하는 것은 어렵다.

이러한 시점에서 새로이 부각되는 제어방법이 Fuzzy Logic Control(FLC)이며, 이는 퍼지논리에 이론적인 기초를 갖는다. 퍼지논리제어는 언어적인 형태로 표현되어진 제어법칙에 의해 제어가 행해지므로 오퍼레이터와의 대화형 제어가 가능하며 반면에 제어기는 단순한 신호의 수준보다 높은 추상적인 수준에서의 제어를 수행할 수 있으면서 원하는 행동양식에 더욱 근접할 수 있다. 게다가 이러한 방법은 수학적인 모델링이 어렵거나 정립이 불가능하지만, 제어전략을 정성적인 향으로 알고 있는 영역에서의 제어문제를 해결하는데 도움이 된다. 따라서 자동차 산업에서도 수학적 모델링이 어려운 자동변속기나 능동 현가장치(active suspension) 등에 퍼지제어를 이용하는 경향이 늘고 있다.^(6, 7)

본 연구에서는 노킹제어에 대한 퍼지제어기의 구현과 실험에 대해서 논술한다. 먼저 본 연구에서 사용된 퍼지제어기에 대한 기초적인 개념과 제어기의 구조를 설명한다. 이 퍼지제어기의 결과를 현재 상용(常用) KCS에서 적용중인 단순 제어기에 의한 결과와 비교하였고, 또한 이미 개발된 노킹발생 간격(knock occurrence interval)^(8, 9)을 이용한 제어기에 의한 결과와도 비교하였다.

2. 제어 알고리즘

2.1 단순제어⁽¹⁰⁾

단순노킹제어방법은 일반적인 상용의 KCS에서 쓰이는 제어 알고리즘으로 Fig.1에서 보는 바와 같이 단순히 노킹의 발생유무에 따라 점화시기를

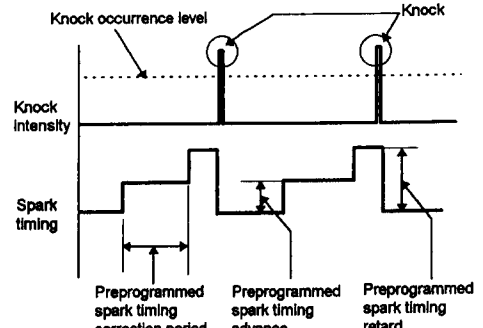


Fig. 1 Conventional knock control algorithm

진각 또는 지각하는 방식으로 노킹이 미리 설정된 진각수정주기(preprogrammed spark timing correction period)이상 발생하지 않았을 경우 점화시기를 정해진 양만큼 진각(spark timing advance)시키고, 노킹이 발생하였을 경우에는 일정한 양으로 지각(spark timing retard)시키는 방법으로 점화시기를 제어한다. 여기서의 노킹발생 한계값은 기초 실험^(9, 10)에 의해 미리 설정된 값이다.

2.2 노킹발생간격제어^(8, 9)

잘 알려진 바와 같이 노킹은 매우 임의적인 현상이고, 그 발생구조 또한 명확히 밝혀지지 않고 있으므로 이를 제어하는데에는 확률적인 접근방법이 필요하며, 일정시간 안에 발생하는 노킹의 발생비율과 관련된 제어변수인 노킹발생간격(knock interval, T_{int})을 도입하고 이를 제어에 이용하였다. 이는 전술한 단순제어기법이 단순히 노킹의 발생 유무만을 판단하여 제어에 이용하기 때문에 빈번한 노킹의 발생 및 점화시기의 잦은 변동으로 인해 출력이 불안정상태를 보이기 때문이다.⁽²⁾ 따라서 단순히 노킹의 발생유무만을 이용치 않고 Fig. 2에서 보는 바와 같이 노킹이 발생하고 그 다음의 노킹이 발생하였을 때까지의 시간을 측정하므로써 이를 제어에서 이용하고자 한다. 이 시간간격은 단지 엔진의 사이클 수를 세는 것으로서 쉽게 측정되어질 수 있다. 또한 기대노킹발생간격(Desired interval, T_d)을 설정함으로써 설계자가 원하는 일정 수준으로 노킹발생간격을 유지하도록 한다. Fig. 3은 이를 이용한 제어기의 전체적인 구성을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 실험중 계속 노킹신호를 검출하면서 획득한 노킹발생간격은 다음 식 (1)에 의해 미리 설정한 기대노킹발생간격과

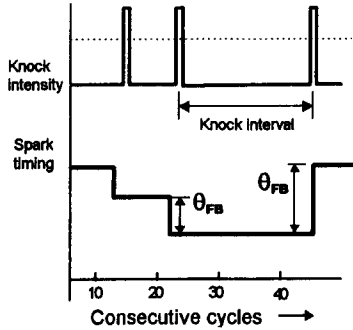


Fig. 2 Basic concept of knock interval control algorithm

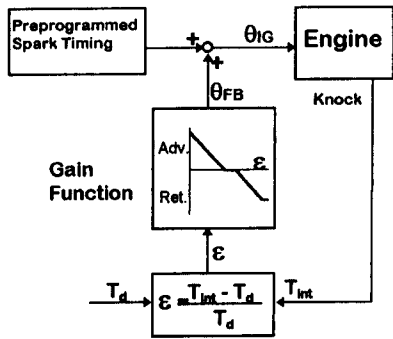


Fig. 3 Configuration of knock interval controller (INT)

비교되어져 ϵ 이 계산되어 진다. 이 ϵ 은 무차원화된 값으로 이는 이후 설명하게 될 이득함수(gain function)가 기대노킹발생간격의 변화에 의해서 영향받지 않도록 하기 위함이다.

$$\epsilon = \frac{T_{int} - T_d}{T_d} \quad (1)$$

식 (1)에 의해 계산된 ϵ 에 따라서 미리 설정한 이득함수를 참조하여 현재 점화시기(θ_{IG})에서의 점화시기 보정량(θ_{FB})을 결정하게 되며, 설정된 이득함수는 Fig. 4와 같다. 이 이득함수에서 보면 ϵ 이 음(-)인 영역은 노킹발생간격이 기대노킹발생간격보다 짧아 노킹이 자주 일어남을 의미하므로, 점화시기를 지각시키는 값을 가지며, 이와 반대로 ϵ 이 양(+)인 영역은 노킹발생간격이 기대 노킹발생간격보다 길어 노킹의 발생빈도가 낮음을 의미하며, 점화시기를 ϵ 에 따른 설정된 값만큼 진각시키게 된다. 또한 노킹발생간격이 기대노킹발생간격부근 영역에서 점화시기의 잦은 변동이 일어나는 것을 막기 위해서 ϵ 이 0인 부근에 사구간(dead zone)을

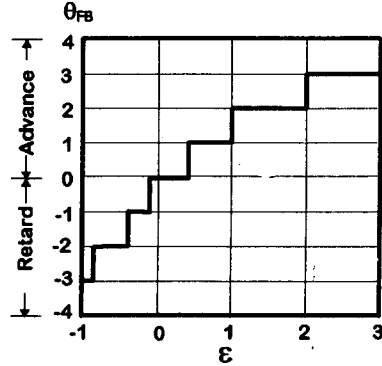


Fig. 4 Gain function for the knock interval controller

두었다.

2.3 퍼지논리제어

퍼지제어에 있어서 입력과 출력에 대한 값들은 퍼지집합으로 정의된다. 하나의 퍼지집합 A는 멤버쉽함수(membership function)에 의해 특성화되어지며 이 멤버쉽함수는 $[0, 1]$ 사이의 실수로 이수는 퍼지집합 A안에 있는 원소 x 의 등급(degree)을 표현한다. 이러한 한 집합에 대한 정의는 하나의 원소가 그 집합에 완전히 속하거나(이 경우 1) 또는 완전히 속하지 않는(이 경우 0) 평상적인 집합(crisp set)과는 차이가 있다. 퍼지논리에 있어서의 0과 1 사이의 이러한 값의 사용이 불확실성을 다루는 수학적 접근을 가능케 한다.⁽¹¹⁾ 전형적인 멤버쉽함수의 형태는 삼각형과 종형이다. 본 논문에서는 삼각형과 종형 멤버쉽함수 형태에 대한 closed loop response를 시뮬레이션을 통하여 비교하여 점화시기의 조절에 있어서 삼각형보다 완만한 지각과 진각 능력을 보이는 종형형태를 선택하였으며 2개의 입력과 1개의 출력에 대해 각각 6개의 멤버쉽 함수를 사용하였다. 또한 멤버쉽함수는 정수형 계산으로 제어수행 시간을 줄이기 위하여 0부터 100까지의 정수로 양자화(quantize)하였다.

제어전략은 다음과 같은 제어법칙의 한 set으로 표현된다.

IF (condition on the controller inputs)
THEN (action on the controller output)

퍼지추론(Fuzzy inference)에 대한 한 예가 Fig. 5에 표현되어 있으며, 이는 제어기 안에서 동시에 4개의 법칙이 사용되었음을 보이며, 또한 출력이 계산되는 방법을 보이고 있다. 구동출력(actuated

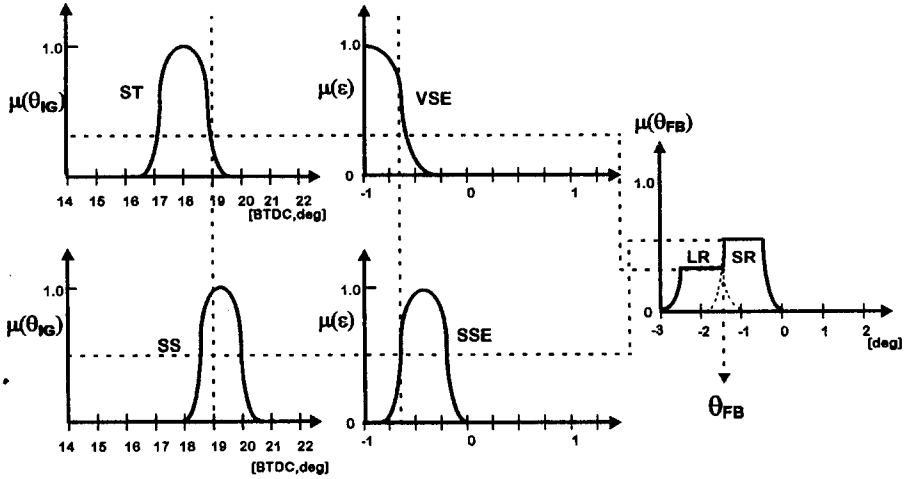


Fig. 5 Compositional rule of inference

output)은 그림에서 보는 바와 같이 이 출력분포의 무게중심(centroid)⁽¹²⁾이다.

제어기는 멤버쉽함수, 제어법칙행렬(Fuzzy Association Memory, FAM)이 두가지로 완전히 정의된다. 제어법칙은 제어과정에 대한 인간의 지식을 함축적으로 표현하며, 인간지식의 불확실성과 비선형성을 다룰 수 있도록 한다. 이러한 것들이 퍼지 제어를 사용하는 주요한 이득중의 하나이다. 제어법칙은 전통적인 제어에서와 같이 요구되는 제어특성에 대한 일반적인 상식에 기초한 전략으로 표현한다.⁽¹³⁾

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션

현재까지 이론적으로 퍼지제어기를 설계하는 특

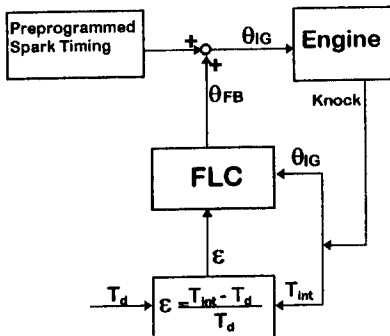
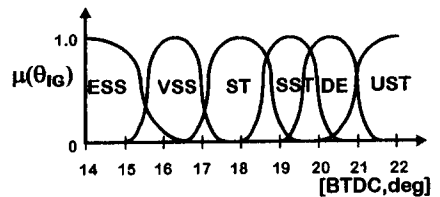
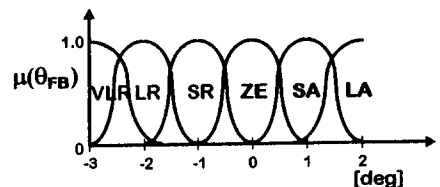


Fig. 6 Configuration of fuzzy logic controller(FLC)

별한 방법이 없기 때문에 설계 파라미터(멤버쉽함수, 제어법칙)는 기본적으로는 시행착오법(trial-and-error)에 기초하여 설계되어진다. 따라서 이러한 이유때문에 시뮬레이션은 제어기를 조정하기 위해서 요구되어지는 실험시간을 줄이는데 매우 유용하다. 시뮬레이션을 위한 데이터는 실험조건과 동일한 2000 rpm, 완전 개도상태에서 점화시기를



(a) Fuzzy sets for input variables



(b) Fuzzy sets for output variable

Fig. 7 Fuzzy set of input variables and output variable

BTDC 14°~32°까지 1°씩 진각시키면서 각각의 경우에 대해 100사이클 동안 취득하였다.

퍼지제어를 적용한 전체 시스템의 구성은 Fig. 6과 같고 노킹이 일어난 현재의 점화시기(θ_{IG})와 ϵ 의 2개 값을 입력으로서 가지며, Fig. 7(a)은 이에 대한 멤버쉽함수이며 멤버쉽함수의 형태의 선택은 전술한 바와 같다.

현재의 점화시기인 θ_{IG} 은 2000 rpm, 완전 개도상태에서의 MBT(Maximum Brake Torque-Timing)인 BTDC 22°를 요구영역(desired region)으로 설정하고, BTDC 14°~22° 영역을 ESS, VSS, ST, UST, DE, UST와 같이 6가지 단계의 연속적인 언어변수를 가지도록 하였다. 다음으로 ϵ 은 전술한 노킹발생간격을 이용한 제어 알고리즘의 경험을 바탕으로 ϵ 이 0.7~1.0 정도를 요구영역으로 설정하고, -1~2까지의 영역을 VSE, SSE, DEE, SLE, LE, VLE와 같이 6가지 단계의 연속적인 언어변수를 가지도록 하였다.

점화시기의 진각/지각량을 출력변수(θ_{FB})로 선택하였으며 무게중심법(centroid)을 이용한 비퍼지화를 수행하였다. Fig. 7. (b)는 출력값의 변화량에 관한 비퍼지화 영역을 보여주며, -3°~2°영역을 VLR, LR, SR, ZE, SA, LA의 6개의 연속적인 언어변수 영역을 가지도록 하였다.

본 연구에서 퍼지제어의 목적은 노킹발생비율을 2%~3% 이내로 유지하면서 토크의 이득을 최대화하고자 하는 목적과 아울러 점화시기의 안정성을 유지해 토크의 안정을 기하는 것이다. 따라서 점화

Spark Timing(θ_{IG})

	ESS	VSS	ST	SST	DE	UST
VSE	ZE	ZE	SR	LR	LR	VLR
SSE	ZE	ZE	SR	SR	LR	VLR
DEE	LA	SA	SA	SA	ZE	SR
SLE	LA	SA	SA	SA	ZE	SR
LE	LA	LA	SA	SA	ZE	SR
VLE	LA	LA	SA	SA	ZE	SR


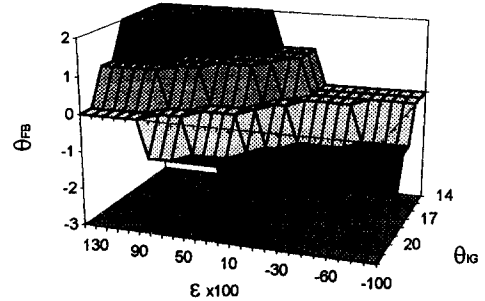
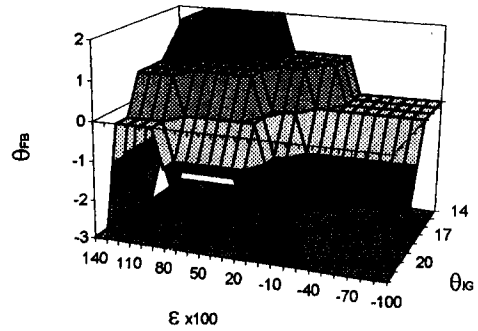


Fig. 8 FAM for the fuzzy logic controller (FLC) and the fuzzy logic controller with deleted rules (FLC-r)



(a) Control surface of the FLC



(b) Control surface of the FLC-r

Fig. 9 Control surface of the FLC and FLC-r

시기와 노킹발생간격간의 관계에 대해서 Fig. 8과 같은 제어물을 구성하였고 Fig. 9(a)은 FAM에 의해 생성된 제어평면, 즉 특정한 입력 θ_{IG} 과 ϵ 이 주어졌을 때 퍼지추론에 의해 계산된 출력값 θ_{FB} 의 관계를 보여주고 있다. 또한 룰셋(rule set)의 정보에 대한 강인성(robustness)을 실험하기 위해 FAM에서 규칙적으로 16개의 룰을 제거하여 제어 지식의 손실에 대한 퍼지제어기의 강인성을 실험하기 위한 퍼지제어기(FLC-r)을 구성하였다. Fig. 8에서 색칠된 룰이 16개의 제거된 룰이며, Fig. 9(b)는 룰이 제거된 FAM에 의해 생성된 제어평면이며 Fig. 9(a)과 비교했을 때 제어평면상의 구배가 급격해진 영역이 발생한 것을 볼 수 있다.

3.2 실험장치 및 실험방법

실험장치는 엔진, 동력계, 압력센서, 진동센서, 온도측정장치, 자료취득장치, 점화시기 조절장치 등으로 구성되어 있다.

본 연구에서 사용된 엔진은 4기통 1498 cc의 MPFI 가솔린 엔진을 사용하였으며, 엔진 연소실 내부의 압력을 측정하기 위하여 4번 실린더에서 Kistler사의 6053 플러쉬 마운트형 압력센서를 장

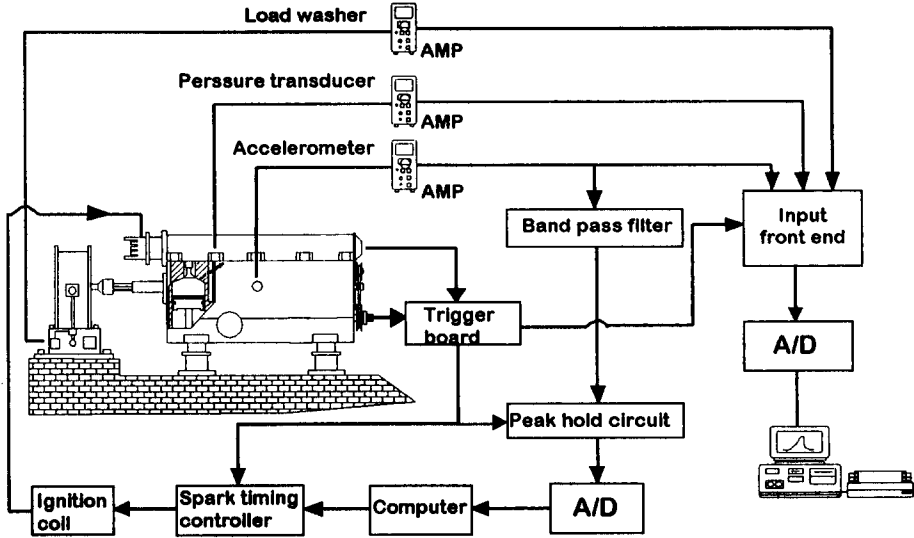


Fig. 10 Schematic diagram of experimental equipment

착하였다. 노킹센서는 B & K사의 4731 모델로 감도는 $0.998 \frac{\mu C}{ms^2}$ 이며, 체결 공진주파수는 42 kHz로 나사못으로 진동센서를 고정할 경우 대표 횡축 공진주파수는 15 kHz이다. 점화시기 조절장치는 기존 MPFI 시스템에서 점화신호를 IBM-PC와의 인터페이스를 통해 C언어 프로그램으로 제어하도록 하였다.

실험은 2000 rpm, 완전 개도조건에서 점화시기를 MBT인 BTDC 22°를 상한값으로 하한값은 상용 ECU에서와 같은 BTDC 14°로 설정하여 행하였다. 또한 실제에서의 노킹 판별은 Fig. 10의 실험장치 개략도에서 보는 바와 같이 엔진 블록에 장착된 진동센서의 신호가 전하 증폭기를 거쳐 구간대역 필터(band-pass filter)를 거치게 된다. 구간대역 필터는 엔진의 구동부에 의해서 야기되는 여러가지 잡음과 노킹신호를 구별하기 위한 것으로 노킹 고유주파수의 1차 모드 주위영역인 5~10kHz 대역을 갖는다. 이후 필터링된 신호는 피크홀드회로(peak-hold circuit)를 거치게 되며, 이 피크홀드회로는 ATDC 10°~70°까지의 구간에서 진동신호의 피크레벨을 유지한다. 이후 이 값은 A/D 변환기에 의해서 디지털값으로 변환되어지며, 이 값은 이후에 설명한 제어 실험에 있어서의 노킹강도를 의미한다. 따라서 이 변환된 값이 제어 프로그램에서 미리 설정한 노킹발생 기준값과 비교되어 노킹인지를 판정하게 되며 제어기에서 계산된 점화시기

의 진각/지각량은 4개 실린더에 동시에 적용된다.

3.3 실험결과

각각의 제어기에 대한 실험은 IBM-PC(80286 microprocessor)를 이용하였고, 제어 프로그램은 단순제어와 노킹발생간격을 이용한 제어기는 C언어로 퍼지제어기는 어셈블러(assembler)로 구성되어 실시간제어가 가능하도록 하였다. 노킹제어는 현재 사이클에서 노킹이 발생했을 경우 다음 사이클에서의 연속적인 노킹발생을 방지하기 위해 즉각적인 제어가 수행되어야 하므로 제어는 1사이클(크랭크축 1/2회전, ATDC 0°~180°)의 시간안에 모든 제어가 이루어져야 한다. 예로써 본 실험에 사용된 엔진의 2000 rpm에서는 15 ms를 의미한다. 그러나 피크홀드회로에서의 시간(ATDC 10°~70°)과 현재 사이클에서 노킹이 발생했는지를 판단하는 시간 등을 제외한다면 실질적으로 점화시간 간격의 50% 이하의 시간안에 제어를 수행해야 한다. 또한 현재 상용 엔진의 ECU는 8 bit 또는 16 bit 마이크로프로세서를 채용하고 있고 퍼지제어기에 있어서 퍼지출력을 계산하는 것은 매우 많은 시간을 소비하는 과정이기 때문에 퍼지제어에서의 실시간제어는 매우 어려운 과제이다. 따라서 우리는 퍼지제어기 구성에 있어서 입력값은 모든 가능한 조합들로써 출력을 미리 계산하여 만들어 놓은 map data를 이용하여 실질적인 제어기를 구현하였다.

실험에 있어서 상용 ECU와의 비교를 위하여 실험 시작 100사이클 동안은 점화시기를 상용 ECU에서와 같게 설정하고, 이후 사이클에서는 각각의 제어기로 제어하여 상용 ECU와 각각의 제어기 성능에 대한 비교가 용이하도록 하였다. 따라서 토크이득 결과그림은 각 실험 초기 100사이클 동안의 토크이득을 100으로 가정한 것에 대한 현재의 토크생산 비율(%)이며, 노킹발생비율은 초기 100사이클 동안을 제외하고 단지 제어기에 의해 제어되어 질때의 엔진 사이클만을 고려하여 계산되었다.

Fig. 11은 단순제어기에 의한 실험결과로 진각수정주기를 20사이클로 설정하고 진각량은 1° 로 지각량은 3° 로 한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 지각량이 3° 로 진각량에 비해 상대적으로 크므로 노킹발생비율은 낮게(1.42%) 나타나지만 이는 전체적으로 점화시기가 많이 지각되어 있기 때문이며 토크이득 선도에서 볼때 지각시의 점화시기의 변동이 크기때문에 이에 따라 토크의 변동도 크게 나타남을 볼 수 있다.

Fig. 12는 기대노킹발생간격이 20일때에 대한 노킹발생간격을 이용한 제어기(INT)에 의해 제어가 수행된 결과이다. 이 제어기에 있어서 점화시기가

많이 지각된 영역에서는 노킹발생간격이 상대적으로 길기 때문에 이에 따른 토크손실이 커지게 된다. 따라서 본 연구에서는 50사이클 동안 노킹이

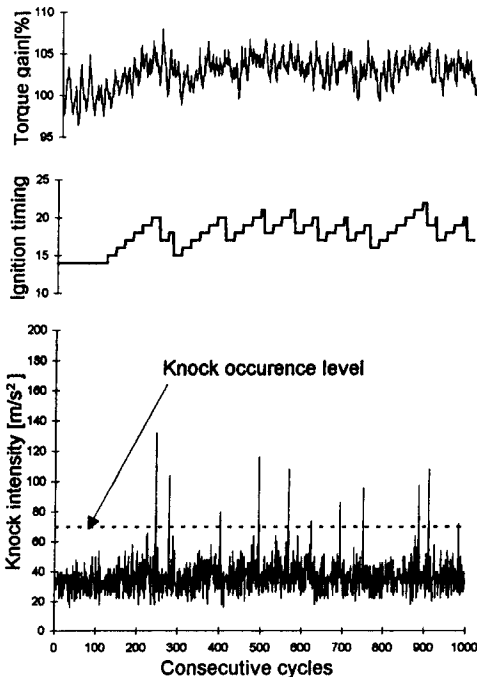


Fig. 11 Experimental results of conventional controller(2000 rpm, WOT, advance : 1° , retard : 3°)

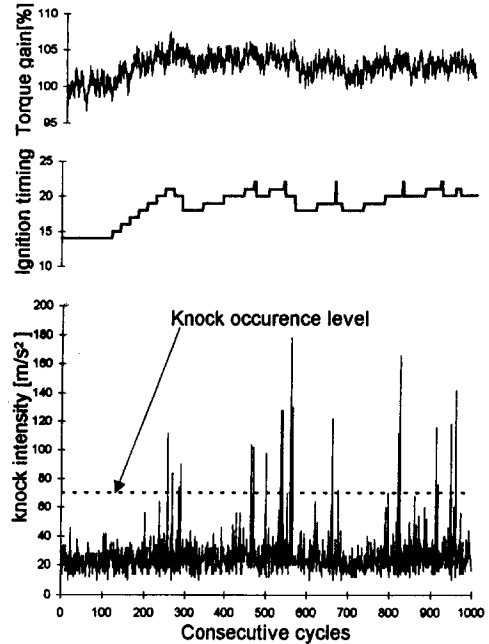


Fig. 12 Experimental results of interval controller (INT) (2000 rpm, WOT, $T_d=20$)

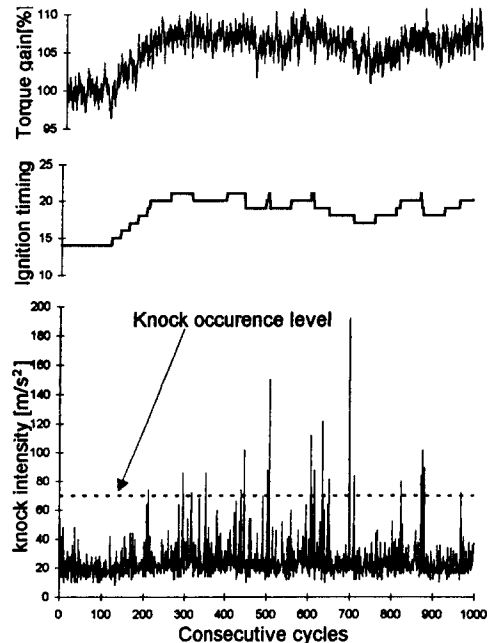


Fig. 13 Experimental results of interval controller (FLC) (2000 rpm, WOT, $T_d=20$)

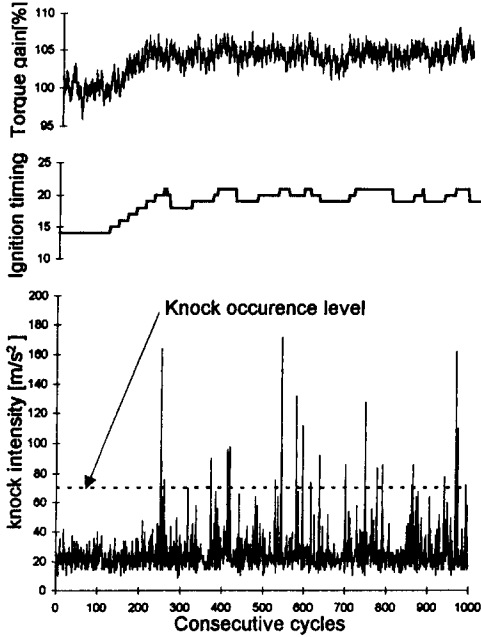


Fig. 14 Experimental results of fuzzy logic controller with deleted rules(FLC-r) (2000 rpm, WOT, $T_d=20$)

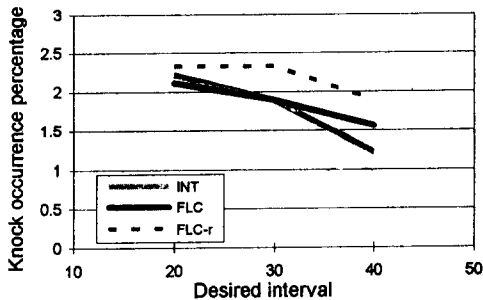


Fig. 15 Comparison of knock occurrence rate for INT, FLC and FLC-r according to desired interval(2000 rpm, WOT)

발생치 않을 경우에는 1° 진각시키는 routine을 제어기에 부가하여 토크의 손실을 가능한한 줄이고자 하였다. Fig. 13은 기대노킹발생간격을 20으로 설정했을시의 퍼지제어기(FLC)를 이용한 결과로노킹발생은 낮은 비율(2.0%)을 보인다. Fig. 14는 물이 감소된 퍼지제어기(FLC-r)에 대해서 노킹발생간격을 20으로 설정했을시의 실험결과이며, 제어 지식의 손상에도 불구하고 토크의 안정성을 해치지 않으면서 노킹발생비율과 토크이득 등의 요구 성능의 심각한 저하없이 제어가 수행됨을 볼 수 있다.

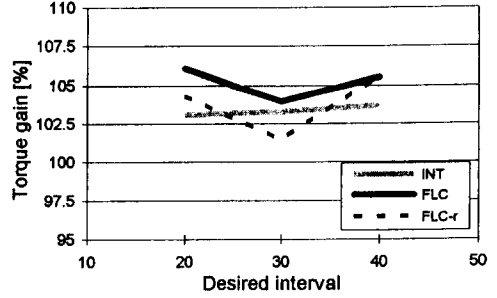


Fig. 16 Comparison of torque gain for INT, FZY and FZY r according to desired interval(2000 rpm, WOT)

Fig. 15는 기대노킹발생간격의 변화에 따른 세가지 제어기(INT, FLC, FLC-r) 각각의 제어결과에 대한 노킹발생비율의 변화를 나타낸다. 전체적인경향은 기대 노킹발생간격이 커질수록 노킹발생비율은 떨어지며, 이는 기대노킹발생간격이 길어질수록 점화시기가 지각될 가능성이 크기 때문이다. Fig. 16은 기대노킹발생간격의 변화에 따른 각각의 제어에서의 토크이득에 대한 변화를 나타낸다. Fig. 15와 Fig. 16의 결과를 동시에 비교해 볼 때 기대노킹발생간격이 길어질수록 노킹발생비율은 떨어지지만 토크이득은 유지됨을 볼 수 있고, 토크 이득 측면에서 단순제어나 노킹발생간격을 이용한 제어기 모두 상용 ECU에 비해 약 3% 이득이 있고 퍼지제어를 이용한 제어기에서는 4% 이상의 이득이 있음을 알 수 있다. 또한 물이 감소된 퍼지제어기(FLC-r)에서도 노킹발생간격을 이용한 제어보다 노킹발생비율은 약간 높지만 토크 이득측면에서 나은 성능을 보임을 알 수 있어 퍼지 제어기가 엔진의 생산오차나 노화현상 등의 주변 환경변화에 대해서도 목표 성능의 심각한 저하를 가져오지 않는 제어를 수행할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 4기통 스파크 점화기관에서 연속적인 노킹의 발생을 피하면서 토크이득을 얻기위해 실린더 블럭 진동신호를 이용한 점화시기를 제어하기 위한 제어 알고리즘을 개발하여 적용하였으며 이로부터,

- (1) 노킹제어로 기존의 ECU보다 연속적인 노킹을 피하면서 약 3%의 토크이득을 얻을 수 있었고 또한 단순제어 방식보다는 노킹발생간격을 제어 변

수로 사용하였을때가 보다 향상된 토크 안전성을 보임을 알 수 있었다.

(2) 노킹발생간격을 제어변수로 사용함으로써 기대노킹간격의 적절한 조절에 의해 일정 수준으로 노킹발생비율을 조절하면서 토크이득을 최대로 할 수 있음을 알 수 있었다.

(3) 퍼지제어기를 이용함으로써 노킹발생간격만을 제어변수로 사용하였을때 보다 향상된 토크이득을 얻을 수 있었다.

(4) 퍼지제어기의 제어를 일부를 제거하고 실험을 수행하였고, 결과적으로 제어지식의 심각한 손상에도 불구하고 제어수행 능력은 큰 영향을 받지 않음을 볼 수 있어 퍼지제어기의 강인성을 평가할 수 있었다.

참고문헌

- (1) 이기형, 1995, "자동차용 가솔린 엔진의 연비 향상을 위한 최신 기술," 한국자동차공학회지, Vol. 17, No. 1.
- (2) 김연준, 고상근, 1992, "노크센서를 이용한 점화시기 피드백 제어에 관한 연구," 한국자동차학회지, Vol. 14, No. 4, pp. 61~67.
- (3) Toshihara Iwata, Koji Sakakibara and Hiroshi Haraguchi, 1989, "A New Method of Automatically Optimize the Knock Detection Level in the Knock Control System," *SAE Technical Paper Series*, 891964.
- (4) Butts, K. Sivashankar, N. and Sun, J., 1995, "Feedforward and Feedback Design for Engine Idle Speed Control Using Optimization," *ACC*, Vol. 4, pp. 2587.
- (5) Zaremba, A. and Davis, R. I., 1995, "Dynamic Analysis and Sability of Power Assist Steering System," *ACC*, Vol. 6, pp. 4253.
- (6) Shui Wen Shen, An Lin GE, Bang Jie LUO, Tian Yi ZHANG and Jue Xin FAN, 1995, "The Fuzzy Control for a Clutch of an Eletonically Controlled Automatic Mechanical Transmission (ATM)," *IPC-8 Proceedings (101-247)*.
- (7) Denis M. Briggs and Ka C. Cheok, 1993, "A Game-Playing Fuzzy Logic Controler for Semi-Active Suspensions," *ACC*, Vol. 1, pp. 301.
- (8) Sawada, D. and Shigematsu, T., 1981, "Improvement of Spark Ignition Knock Detector Performance by Learning Control," *SAE Paper 810057*.
- (9) 함윤영, 전광민, 장광수, 1994, "실린더내 블럭 진동신호를 이용한 스파크 점화 기관의 노킹 제어," '94년 한국자동차제어학술회의 논문집, Vol. 1, pp. 142~147.
- (10) 함윤영, 이재형, 전광민, 장광수, 1994, "실린더 블럭 진동신호를 이용한 스파크 점화기관의 단순노킹제어," 한국자동차공학회 추계학술대회, pp. 305~311.
- (11) Kosko, Bart, 1993, "Fuzzy System as Universal Approximators," *IEEE Transactions on Computers*.
- (12) Martin F. Mcneill, Ellen Thro, 1994, *Fuzzy Logic : A Practical Approach*, Academic Press Inc.
- (13) Earl Cox, 1994, *The Fuzzy Systems Handbook*, The Metus Systems Group, pp. 379~389.
- (14) 이재형, 함윤영, 전광민, 장광수, 1995, "퍼지제어기를 이용한 스파크 점화기관 노킹 알고리즘 개발," 대한기계학회 춘계학술대회논문집, Vol. 1, pp. 856~861.