

# CRDI 엔진 전자제어컨트롤러(ECU)의 노킹 판별 및 엔진 밸런스 보정 알고리즘 개발

김화선\* · 장성진\*\* · 장종욱\*\*\*

\*동의대학교

## Development of Knocking discrimination and Engine balance Correction Algorithm of CRDI Engine ECU

Hwa-seon Kim\* · Seong-jin Jang\*\* · Jong-yug Jang\*\*\*

\*Dong Eui University

E-mail : rainwood@dreamwiz.com\*, ch99jin@hanmail.net\*\*, jwjang@deu.ac.kr\*\*\*

### 요 약

최근 국내외의 강화된 배출가스 규제 기준을 만족시킬 수 있는 CRDI 디젤엔진을 산업용 엔진에 적용하기 위해, 제작사에서만 제어할 수 있는 ECU를 사용자의 요구대로 분사시기와 분사량을 조절할 수 있는 엔진 제어 알고리즘을 개발하여, 엔진 성능 향상과 배출가스 저감 등을 위한 테스트 및 검증에 사용하고자 한다. 이러한 CRDI 디젤엔진 전용 Emulator를 개발하기 위해 CRDI 엔진 제어 ECU의 입력 요소 중 CKP와 CMP 센서의 작동원리를 이용하여 디젤 노킹을 판별하고 엔진 밸런스 보정 알고리즘의 설계 방안을 제안함으로써 연비 향상 및 유해 배출가스의 저감을 위한 효율적인 개선 방안을 제안한다.

### ABSTRACT

Recently, for applying to industrial engines to CRDI diesel engine to meet enhanced emission regulatory standards in native and foreign, ECU that be controlled only automaker develop engine control algorithm that adjust injection timing and injection as user's need and use testing, verification for engine performance and emissions reduction. For development only CRDI diesel engine emulator, using CKP and CMP sensor performance property of CRDI engine control ECU input element, in this paper, there determine the diesel knocking and propose design methodology of engine balance correction algorithm design of the correction algorithm. And there propose efficient Improvement for fuel efficiency increasing and reduction of emissions.

### 키워드

CRDI(common rail direct injection), CMP(Camshaft Position Sensor : TDC),  
CPS(Crankshaft Position Sensor), Knocking

### I. 서 론

최근 생산되는 자동차의 경우 국내외의 친환경적 요구에 따라 배기가스의 저감을 위한 엔진기술이 적용되어야 한다. 그러나 인젝션 펌프의 연료분사방식을 채택하여 적용되고 있는 일반디젤엔진의 경우는 국내외의 배기가스 규제를 만족하기에는 한계가 있다. 그러므로 기존의 인젝션 펌프방식을 탈피하여 배기가스를 최소화함으로써 모든 국가의 배기가스 규제를 만족할 수 있게 설계된 엔진인 전자제어 커먼레일엔진(CRDI : Common Rail Direct Injection

engine)이 개발되었다.

CRDI 시스템은 엔진제어장치(ECU), 고압펌프, 커먼레일(rail), 인젝터(injector)로 구성된다. 연료를 분사하기 전에 커먼레일에 저장한 후 연소효율이 가장 높은 시점에 고압으로 분사하고, 고압 분사되어 분무상태가 된 연료는 연소효율이 뛰어나 연비가 높고, 배기가스의 질소산화물이 크게 줄게 된다. 이러한 연료의 분사량과 시기를 CRDI ECU가 판단하고 조절한다. ECU는 센서에서 보내온 엔진속도, 크랭크 각, 연료압력, 흡기온도 등 정보를 분석하여 분사시기와 분사량을 결정하여 최적의 조건으로 연료 분사가 이루어

어지게 하여 연비를 향상시키고, 유해배출가스의 발생을 최소화시키도록 커먼레일 시스템을 제어하는 것이다[1][2]. 이런 기능을 하는 ECU의 프로그램 부분과 데이터 부분은 제작사에서만 변경 할 수 있도록 되어 있어 사용자가 요구하는 대로 분사시기와 분사량을 제어할 수 없다. 특히 엔진 제어 알고리즘의 변경이 어려워 다른 용도로의 개조가 힘들 뿐만 아니라 엔진 성능향상과 배출가스 저감 등을 위한 테스트 및 검증이 어려운 현실이다.

본 연구에서는 사용자의 요구대로 분사시기와 분사량 제어 등이 가능한 CRDI 디젤엔진 전용 Emulator를 개발하고자 CRDI 엔진 제어 ECU의 입력 요소 중 시동시 분사시기를 결정하는 중요한 두 개의 센서 CPS와 CMP 센서의 작동원리를 이용하여 디젤 노킹 판별을 통해 분사시기와 분사량을 제어할 수 있게 하였다.

II. 관련 연구

배출가스 규제 강화에 대응하기 위해 디젤엔진의 경우 CRDI 시스템으로 대표되는 초고압 연료분사 및 전자제어 기술의 발달을 기반으로 고출력, 고효율 및 저배기 기술이 괄목할만한 성장을 이루었으나, 산업용 엔진의 경우 도로 주행용 차량에 비해 수효가 적은 이유로 고가의 CRDI 시스템을 적용하지 않고 있으며, 국내의 기업에서도 산업용 CRDI 엔진 전용 ECU를 생산하지 않고 있다. 국내에 주로 보급되는 차량의 엔진용 ECU는 보쉬, 델파이, 지멘스, 도요타, 케피코 등에서 만든 제품들이며, 전량 수입에 의존하고 있다. H사에서 ECU에 대한 체계적이고 조직적인 연구개발이 진행되고 있기는 하지만 자체 개발된 ECU의 적용 사례 또한 없으며, 납품 받은 ECU를 각 차량에 적용하기 위해서 간단한 보정정도만 국내 자동차 제작사에서 이루어지고 있는 수준이다. 현재 대체적으로 ECU의 프로그램 부분과 데이터 부분은 제작사에서만 변경 할 수 있도록 되어 있어 사용자가 분사시기와 분사량 제어 등과 같은 ECU 알고리즘 수정이 불가능하여 CRDI 엔진제어 실무자 등에게는 연구 활동에 많은 어려움이 있다.

이러한 배경으로 인해 본 연구에서는 사용자가 요구하는 대로 분사시기와 분사량 제어 등이 가능한 CRDI 디젤엔진 전용 Emulator를 개발하여 엔진성능 향상 및 배기가스저감을 위한 연구에 적용하고자 한다.

2.1 CRDI 엔진 개요

CRDI 엔진은 컴퓨터와 각종 센서로 이루어진 제어계통과 압력펌프 커먼레일 전자제어식 분사 노즐로 이루어져 있다. CRDI ECU는 그림 1과 같이 엔진속도, 크랭크 각, 연료압력 등 정보를 분석하여 분사시기와 분사량을 결정하여 최적의 조건으로 연료 분사가 이루어지게 하여 연비를 향상시키고, 유해 배출가스 발생을 최소화시키도록 커먼레일 시스템을 제어한다[1][2].

본 연구에서는 ECU의 정보중 시동시 분사시기를 결정하는 중요한 두 개의 입력 센서값인 CKP와 CMP를 사용하여 CRDI ECU의 노킹을 판별하고 엔진 밸런스 보정 알고리즘을 제안한다.

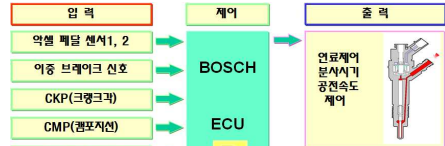


그림 1. 전자제어 시스템 입·출력 구성 요소[3][4]

- CKP 센서(CPS : Crankshaft Position Sensor)  
크랭크샤프트 포지션 센서는 실린더 블록에 설치되며 크랭크축과 일체로 되어 있어 센서휠의 돌기가 회전 할 때 교류(AC)전압이 유도되는 마그네트 인덕티브 방식이 적용되며, 실린더 블록에 설치되어 피스톤 위치를 감지하여 펄스 신호로 바꾸어 ECU에 입력하고 ECU는 이 신호에 입각하여 엔진 속도를 계산하고 연료 분사시기와 점화시기를 조절한다[5]. CKP는 엔진의 rpm과 크랭크 각도를 계산하여 기본 연료 분사량과 분사시기를 결정하는 가장 중요한 센서로 톤 휠의 위치를 검출 한다. 톤 휠은 58개의 돌기와 2개의 참조점(missing tooth)으로 크랭크축 1회전을 60등분하여 돌기 하나 당 6° 크랭크 축의 위치를 검출한다. 이 참조점과 CMP 신호를 비교하여 1번 실린더의 압축 상사점을 찾는다[1][2][3].
- CMP센서(Camshaft Position Sensor : TDC)  
캠샤프트는 캠축에 설치되어 캠축 1회전(크랭크축 2회전) 당 1개의 펄스 신호를 발생시켜 컴퓨터로 입력시킨다. 즉 돌기의 회전을 감지하여 ECU로 입력시킨다. ECU는 이 신호를 입력 받아 엔진의 기통 판별 및 크랭크 각을 연산하여, 인젝터 분사 순서와 분사시기를 결정한다[1][2][3].

- 초기 시동 시 특정 실린더의 행정 판별은 CKP 센서만으로는 연산이 어려워, 피스톤이 TDC 방향으로 움직일 때 캠샤프트 위치로써 특정 실린더의 행정이 압축단계인지 배기단계 인지를 알 수 있는 CMP 신호를 통해 1번 실린더 압축 상사점을 검출하여 연료 분사의 순서를 결정한다. CMP는 CKP 회전 1회전 회전하므로 CKP의 참조점이 2번 발생할 때 CMP 신호는 1회 발생된다[4].
- CKP와 CMP 센서의 파형 분석  
4사이클 엔진에서 점화시기 및 연료분사시기를 계산하기 위해서는 각 행정의 구분, 특히 (압축)상사점이 언제 오는가를 정확히 알고 있어야 한다. BTDC(Before Top Dead Center : 상사점전) 및 도에서 점화를 시키는 것이 효율적인가를 미리 계산해야 했다 상사점 전에 점화를 시킬 수 있는 것이다. 이렇게 상사점, 하사점 등의 정확한 계산을 위해 missing tooth를 두어 ECU가 알 수 있게 한다. CMP 신호가 발생 후 투스가 19개되는 지점이 1번 상사점으로, missing tooth를 기준으로 했을 때 이 지점이 114도 전이므로 missing tooth로부터 투스를 세면 상사점전 몇 도인지를 계산하여 점화시기를 알 수 있다[1].

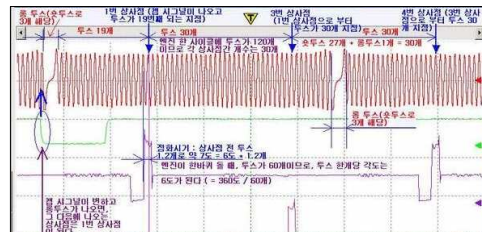


그림2. 차량의 상사점-점화시기[5]

### III. 시스템 설계 및 구현

#### 3.1 시스템의 구성

본 연구에서는 시뮬레이터에서 제어 센서 값을 수집하여 차량의 Knocking 판별 기준을 제공 할 수 있는 알고리즘을 구현한다. 그림 3는 시뮬레이터에서 제어 센서 값을 받기 위한 구성도이다. CRDI 엔진이 탑재 되어진 차량 또는 엔진 시뮬레이터에서 Encoder 또는 CPS(Crankshaft Position/angle Sensor)를 통해 노킹 센서 및 중요한 엔진 제어 센서 측정을 위해 DAQ 보드를 이용 하여 센서 값들을 수집 하고, 노트북과 USB 통신을 통하여 데이터를 노트북으로 전송하여 값들을 분석한다. 이 값들을 이용하여 향상된 CRDI 엔진 제어 커스터마이징 맵핑을 위하여, 유용한 센서정보들을 분석 및 가공하여 최적의 Knocking 판별 기준을 제공 할 수 있는 Knocking 판별 및 보정 알고리즘을 구현한다.

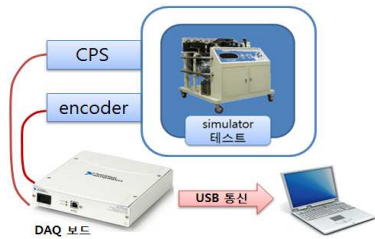


그림 3. 시스템 구성도

그림 4과 같이 NI USB-6529와 BNC-2110 Controller 장치를 사용하여 데이터를 수집하고 수집된 데이터는 NI Labview 2010 소프트웨어를 기반으로 알고리즘을 개발한다. 크랭크 축과 캠 샤프트 장비에 모터를 장착한 자동차의 CPS와 CMP 신호를 생성하는 엔진 시뮬레이터 장비를 그림 5와 같이 구성한다. 노킹의 판단 기준을 분석하기 위해 크랭크 축의 톤 휠의 특정 부분 돌기를 각도 및 참조점(messing tooth)의 위치를 달리하여 여러 개의 톤 휠을 제작하였다.

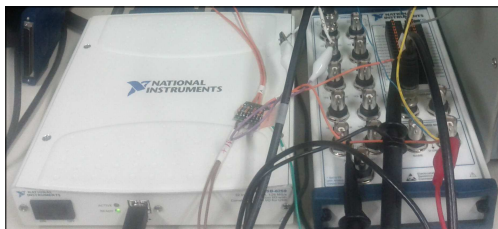


그림 4. 데이터 수집을 위한 NI DAQ 보드



그림 5. 엔진 시뮬레이터 장비

#### 3.2 알고리즘 개발

차량의 노킹은 착화지연기간이 길어지면 착화전에 기화된 연료가 많아져서 폭발적인 연소를 일으켜 디젤노크가 발생하게 되는데 이러한 디젤노크를 방지하는 방법 중의 하나가 분사시기를 제어하는 것이다. 따라서 연료분사시기와 분사량을 제어할 수 있는 knocking 판별 알고리즘을 구현하게 되면 노킹 판별을 통해 연료 분사시점을 제어할 수 있다.

##### ■ 노킹 판별 알고리즘

수식(1)과 같이 각 CPS의 가속도를 비교하여 가속도가 클 경우 노킹으로 판별하여 연료분사 시점을 제어한다. 그림 6은 노킹 판별 알고리즘의 순서도이다.

$$\Delta t = \text{나중시간} - \text{처음시간} = t_1 - t_0 \quad (1)$$

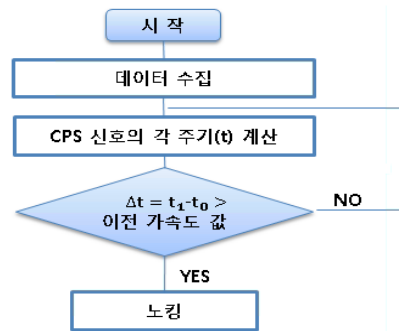


그림 6. 노킹 판별 알고리즘의 순서도

##### ■ 롱 투스(Long Tooth) 판별 알고리즘

크랭크 각 센서의 신호가 입력되면 엔진의 동작으로 인식하고 연료나 점화의 시기를 정확한 시기와 위치에 맞추기 위해 1번 실린더 상사점 센서(No1TDL = CMP)의 입력신호를 기준으로 정하게 된다. 이는 연료분사 및 점화시기를 정확하게 결정하기 위해 입력된 값이 롱 투스인지 정확하게 판별하도록 롱 투스 판별 알고리즘이 필요하다. 이전시간과 현재시간의 변화가 1.75~4.25배 내외이면 이때를 롱 투스로 판별하여 연료분사 시점을 결정하는 신호로 사용한다.

##### ■ 엔진 밸런스 보정 알고리즘

크랭크 포지션 센서 신호를 이용해 실린더의 엔진회전수를 검출하고, 이때 연산되는 데이터로 인젝터의 분사량 편차 및 엔진 본체(압축압력, 흡배기밸브장치 등) 등 모든 부분의 종합적인 결과를 확인할 수 있으므로 엔진 구조의 원인을 진단하는데 아주 중요하다. 엔진 파워밸런스의 확인 시 먼저 육감 테스트를 통해 엔진에서 이상 진동이 발생되면 각 실린더의 파워 밸런스가 불균일 한 것으로 볼 수 있다. 하지만 이러한 파워 밸런스 불량은 인젝터 이외 실린더 압축압력 불량에 의한 것일 수 있기 때문에 실린더의 압축압력 테스트를 병행해야 정확한 판단을 할 수 있다. 압축압력 테스트는 종래의 방법으로 압력계기를 실린더에 직접 설치하여 실시할 수도 있지만, 최근에 개발된 거의 모든 엔진은 크랭크샤프트 포지션 센서가 설치되어 있으므로 스캔 툴로 크랭킹시 속도 차이로 불량 실린더의 판별이 가능하다. 상사점 이후 0~30°가 점화시기이므로 각 상사점 1번은 0~30°, 3번은 180~210

, 2번은 360~390°, 4번은 540~570°의 속도의 평균을 계산하여 실린더의 불량 여부를 판별할 수 있다.

#### IV. 실험 및 결과

본 절에서는 설계한 시뮬레이터에서 수집된 센서의 값을 이용하여 노킹 판별 및 엔진 밸런스 보정 알고리즘 개발하였다. 그림 7은 개발된 프로그램의 메인 화면으로 시뮬레이터에서 실시간 수집된 CPS 및 TDC 신호의 파형을 확인 할 수 있다.

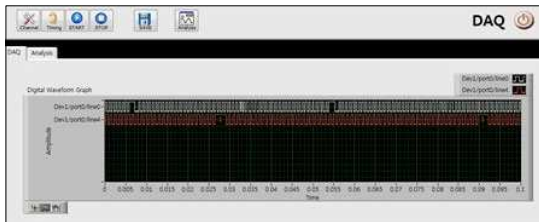


그림 7. 프로그램 메인 화면

그림 8은 현재 시간과 이전 시간의 가속도의 차를 계산한 노킹 판별 알고리즘을 적용한 결과이다. 긴 파형은 참조점(missing tooth)이며, 참조점과 참조점 사이에 짧은 파형이 노킹이 발생한 지점이 된다.

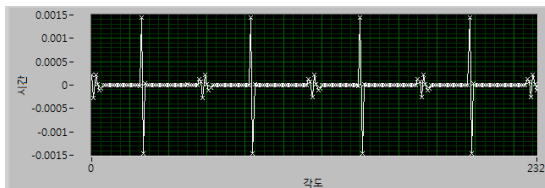


그림 8. 노킹 판별 알고리즘 결과

이전 시간과 현재 시간의 변화가 1.75~4.25배 내외이면 이 때 룬-투스스로 판별하여 19번째 돌기를 1번 압축상사점으로 판단하고, 이를 기준으로 30번째 돌기가 3번 상사점이 되고, 그 다음 30번째 돌기가 2번 상사점, 다음 30번째가 4번 상사점이 된다. 그림 9은 룬-투스스 판별 제어 알고리즘을 결과를 보여준다.

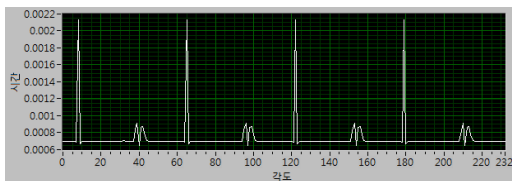


그림 9. 룬 투스 판별 제어 알고리즘 결과

그림 10은 엔진 밸런스 보정 알고리즘의 수행 결과이다. 그림 10은 각 상사점의 0~30°까지 신호만 나타낸 그래프이다. 그림 10과 그림 11에서 긴 파형은 룬-투스이며, 3번과 4번 실린더의 상사점에서 노킹이 발생하였음을 알 수 있다.

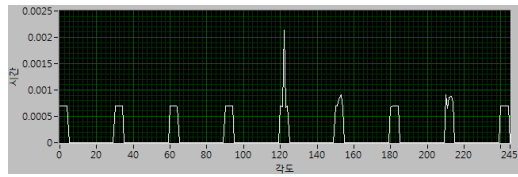


그림 10. 각 상사점의 점화시기 속도

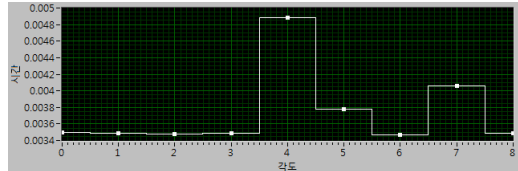


그림 11. 각 상사점의 점화시기 속도 평균

#### V. 결 론

본 연구에서는 시뮬레이터의 센서 값을 DAQ 보드를 통해 수집하여 노킹 판단 및 엔진 밸런스 보정 알고리즘을 개발하였다. 연료분사시기와 분사량을 제어할 수 있는 knocking 판별 알고리즘을 구현하여 노킹 판별을 통해 연료 분사시점을 제어하고자 하였다.

향후, 본 연구에서 제안한 알고리즘을 실차에 적용하여 산업용 CRDI 엔진에 맞는 Knocking 보정 알고리즘을 구현하여 최적의 엔진 제어 시스템을 개발하고자 한다. 그리고 현재의 CRDI 엔진제어 보다 향상된 CRDI 엔진 제어 알고리즘을 구현하여 배출가스 저감, 연비의 향상, 엔진 응답성 향상, 출력 성능의 향상 등의 서비스를 개선하고자 한다.

#### 감사의 글

본 논문은 중소 기업창업에서 지원하는 2011년도 산학협력력 기업부설연구소 지원 사업(No. 2011XB026)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

#### 참고문헌

- [1] 정용근, 전기전자와 커먼레일엔진 차량진단, 내하출판사, p99~p220, 2008
- [2] 박재림·백태실·안영명·최두석, 자동차 기관, 골든벨, p307~p334, 2003
- [3] 윤준규, 천동준, 조일영, 하종석, 최두석, 자동차 디젤기관, 미전사이언스, p246~p264, 2002
- [4] 이교승·류경희, 자동차 기관 일반, 미전사이언스, p339~352, 2008
- [5] 자동차 저이 정보 공유 커뮤니티, <http://cafe.naver.com/autowave21/136953>, TCD 상사점 찾기