

후진동이 나타나는 실화 진단 방법에서 가중치를 이용한 성능 향상에 대한 연구

임지훈¹⁾ · 이태연¹⁾ · 김일구¹⁾ · 홍성률¹⁾ · 성진호¹⁾ · 박재홍¹⁾
윤형진²⁾ · 박진서²⁾ · 김동선²⁾
서울대학교 전기공학부¹⁾ · 현대자동차²⁾

A Study on the Improvement of Misfire Detection Method with Vibration by using the Weight Factor

Jihoon Lim^{*1)} · Taeyeon Lee¹⁾ · Ealgoo Kim¹⁾ · Sungrul Hong¹⁾ · Jinho Sung¹⁾ · Jaehong Park¹⁾
Hyungjin Yoon²⁾ · Jinseo Park²⁾ · Dongsun Kim²⁾

¹⁾School of Electrical Engineering, Seoul National University, Seoul 152-742, Korea

²⁾Research & Development Division of Hyundai Motor Company, 772-1 Jaduk-dong, Whasung-si,
Gyeonggi 445-850, Korea

(Received 22 October 2004 / Accepted 11 April 2005)

Abstract : This paper presents a misfire monitoring method by using the weight factor. According to OBD II (On-Board Diagnostics) regulations of the CARB (California Air Resources Board), an ECU (Electronic Control Unit) should detect misfires which occur in the internal combustion engine. A misfire is followed by post-oscillations for short duration. Sometimes, the amplitude of oscillations may be as high as misfire and can be falsely detected as another misfire. To prevent this, the software designers do not attempt to detect another misfire for this short duration, during which the post oscillations exist. Because of this, ECU does not detect all the misfires and hence, the unstable state of automobile cannot be detected. If this happens for a long time, automobile may get damaged. To solve these problems, this paper suggests a new algorithm to detect misfire by using weighting factor. Weighting factor is a concept to distinguish the misfire with the post oscillation and to improve the detection rate. This value of weighting factor is used for counting the misfire. This paper also shows the result of experiment done on a automobile using this software. The software is implemented using ASCET-SD which is preferred in the design of engine control. This paper's result show the possibility of improving the misfire detection by implementing this algorithm.

Key words : ECU(전자 제어 유닛), Misfire(실화), Weight factor(가중치), Suppression section on following detected Misfire(실화 검출 중지 구간), Detection section having no suppression section(실화 검출 지연 구간), MIL(malfunction indicator lamp), Ignition timing(점화 시기)

1. 서론

자동차 산업의 발달로 인해 배기가스가 증가하여

환경오염이 심각해지고 있다. 그 대책으로 북미 및 유럽에서는 OBD(On-Board Diagnosis) II 라는 규약을 통해 실화를 검사하여 대기 오염을 방지하고 있다.^{1,2)} 실화란 혼합기가 여러 가지 요인들로 인해 실린더 내부에서 충분히 연소하지 못하는 상황을 말

*To whom correspondence should be addressed.
ljh@camus.snu.ac.kr

한다. 실화가 발생하게 되면, 연료중의 HC가 대기 중으로 배출되고, 연소되지 않은 혼합기가 카탈리스트 내부에서 2차 산화를 일으키게 된다. 이러한 2차 산화가 발생할 경우 카탈리스트의 온도 증가로 인해 촉매금속이 용해되어 카탈리스트가 손상된다.⁷⁾ 실화 진단의 목적은 실화가 과도하게 발생한 경우 엔진의 정비를 유도하여 HC의 과다 배출과 카탈리스트 손상을 억제하는 것이다.

실화를 진단하는 방법으로는 압력 측정법,³⁾ O₂ 센서 출력 진단법,⁴⁾ 크랭크축 각속도 변동 진단법⁵⁾ 등이 있다.

이중에서 크랭크축 각속도 변동 진단법이란 크랭크 축위의 톱니들을 감지하여 일정한 개수의 톱니가 회전하는데 걸리는 시간을 측정하고 이를 통해서 크랭크 축의 회전 속도를 계산하는 방식이다.

Fig. 1은 톱니와 세그먼트 시간의 의미를 보여준다. 세그먼트 시간이란 실린더가 폭발한 후에 다음 번 폭발까지 걸린 시간을 뜻한다. 실화가 발생하여 토크가 변하면 크랭크 축의 각 가속도가 변동하여 세그먼트 시간의 변동을 지수화한 엔진 러프니스가 증가하므로 실화를 검출할 수 있게 된다.

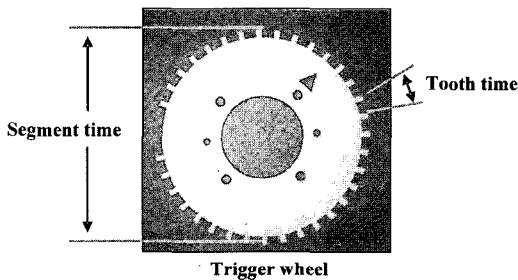


Fig. 1 Structure of wheel

$$Lu = \frac{T_{i+1} - T_i}{T_i^3} \quad (1)$$

식 (1)에서 Lu는 엔진 러프니스를, T_i은 i번째의 세그먼트 시간, T_{i+1}은 i+1번째의 세그먼트 시간을 나타낸다. 엔진 러프니스는 기준값과 비교하여 실화 여부를 판단하는 값으로써 각속도의 변화량을 의미한다. 이 방법은 추가적인 하드웨어가 필요하지 않고 소프트웨어만으로 구현이 가능하다는 장

점 때문에 널리 사용되고 있다. 그러나 이 값은 실화의 발생으로 인한 크랭크 샤프트의 속도 변화와 기어 변속이나 연료 차단 등의 현상에 매우 민감하다는 특징을 갖고 있다.⁸⁾ 따라서 이 방식은 실화로 인해 발생하는 러프니스 흔들림인 후진동과 실제 실화사이의 구별이 어렵다는 단점을 갖는다.

후진동이란 실화가 발생하거나 부속의 고장시, 또는 외부 주행 조건이 거친길 등일때 정상적인 상황에서도 엔진의 회전이 불규칙한 것을 말한다. 이는 실화로 오검출할 수 있는 보정이 필요한 현상이다.⁹⁻¹⁰⁾

Fig. 2는 실화 때문에 발생한 후진동을 나타낸다. 실험 조건은 실제 6기통, 3000rpm 이며 엔진의 4번째 실린더에서 실화가 발생했을 때 일정 기간동안 후진동이 나타나는 것을 보여준다.⁹⁾ 따라서 정확한 실화 진단을 위해 실화와 구분되어야 하는 후진동이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

본 논문은 후진동이 실화로 오검출 되는 것을 방지하기 위해 사용되고 있는 기존의 방식을 소개하고 그 방식이 갖는 일정 구간동안 실화를 놓치는 단점을 보완하기 위하여 가중치를 이용한 실화 검출 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 실제 실화 발생 후 각 점화 시점에서 갖는 실화 발생 가능성⁹⁾에 따라 가중치를 변화해 가면서 실화를 검출하기 때문에 실화 검출률을 향상시킬 수 있는 장점을 갖는다. 알고리즘의 적용 가능성을 검증하기 위해 ASCET-SD를 사용하여 구현한 후 시뮬레이션을 수행한다. 또한 실제 차량에 장착되는 ECU를 사용하여 실험을 수행하여 알고리즘의 적용 가능성을 확

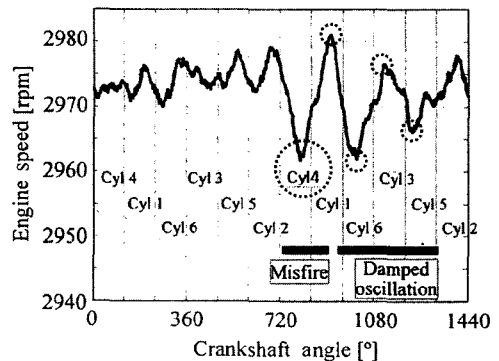


Fig. 2 Post oscillation by following the misfire

인한다. 가중치를 도입한 진단 알고리즘은 실화의 보다 정밀한 진단을 가능하게 하여 카탈리스트의 2차 산화 방지와 배기가스로 HC가 방출되는 것의 효과적인 차단을 기대할 수 있다.

2장에서는 가중치를 도입한 알고리즘에 대하여 소개한다. 3장에서는 제한한 알고리즘을 로직으로 구현하고 시뮬레이션을 수행한다. 또한 실제 차량에서의 실험 결과를 통해 가중치가 올바르게 적용되는지를 분석한다. 4장에서는 전체 내용을 요약하고, 향후 연구 과제를 다룬다.

2. 가중치를 이용한 실화 검출 알고리즘

2.1 후진동을 고려한 알고리즘

후진동은 실화가 발생한 후에 러프니스가 흔들리는 바람직하지 않은 현상이다. 기존에는 이러한 후진동을 실화로 오검출하는 것을 막기 위해 실화 검출 중지 구간을 사용하였다.⁶⁾

실화 검출 중지 구간이란 실화가 발생한 후 일정 기간동안 크랭크 샤프트가 흔들리더라도 실화로 검출하지 않는 구간을 말한다. 그러나 이 방식을 사용할 경우에는 실화 검출 중지 구간에서 발생하는 실화를 검출하지 않으므로 실제로 발생한 실화를 놓치는 경우가 존재할 수 있다. 따라서 정확한 실화 검출을 위해서 실화 검출 중지 구간에서의 보정이 필요하다.

2.2 가중치를 이용한 실화 검출 알고리즘

가중치는 실화 검출 중지 구간에서 실화와 후진동을 구별하는 확률값을 말한다. 이 값을 결정하기 위해 실제 차량에서 얻은 엔진 러프니스 값을 추출하여 비교 분석하였다.

Fig. 3은 실화 발생시 후진동이 있는 경우와 아닌 경우의 엔진 러프니스의 envelope를 보여준다. 파형의 기울기를 계산해 보면 후진동에 의한 파형은 11이상의 급격한 기울기를 갖고 실제 다중 실화가 발생한 경우는 7이하의 완만한 기울기를 갖고 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 후진동과 실화를 구별하는 기준값을 설정하여 실화 검출의 효율성을 높일 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 실험 데이터는 4기통, 가솔린 엔진, idling에서 실험을 수

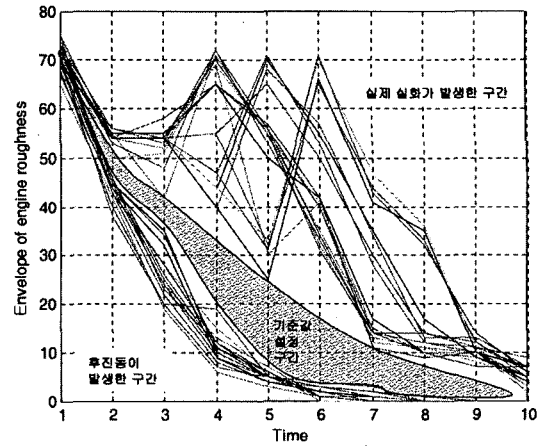


Fig. 3 Method to decide the standard value

행하여 얻은 것이다.

이와 같이 계산된 기준값을 사용하여 후진동과 실화를 구별하기 위해 실화 진단 가중치를 계산한다. 실화 진단 가중치란 엔진 러프니스의 흔들리는 정도를 보고 실화인지 후진동인지를 판단하여 실화 진단시 곱해주는 값이다. 엔진 러프니스 값과 기준값을 비교하여 엔진 러프니스 값이 기준값보다 크면 크랭크 축의 흔들림이 실화라고 판단한다. 따라서 실화 검출을 중지하는 구간에서의 엔진 러프니스 값을 처음 발생한 실화의 크기로 나눠줌으로써 가중치를 계산한다. 반대로 엔진 러프니스 값이 기준값보다 작으면 후진동이라고 판단하여 가중치를 0으로 설정한다. 이와 같이 실화 진단 가중치를 계산하여 실제로 발생한 실화 개수를 세서 고장을 진단할 때 곱해줌으로써 보상을 해준다. 이러한 보상을 통해 고장 진단을 수행하기 때문에 기존의 고장 진단보다 약 4% 정도의 정밀한 제어가 가능하다.

Fig. 4는 가중치를 이용한 실화 검출 알고리즘의 순서도이다. 실화가 발생하면 실화와 후진동을 구별하는 기준값과 러프니스의 흔들림을 비교한다. 비교 결과에 따라 실화 진단 가중치를 계산하고 그 값을 실화 개수를 세서 고장을 진단하는 부분에 곱하여 실화 검출 중지 구간에서도 실화 진단을 수행하게 된다.

본 알고리즘의 장점은 후진동을 실화로 오검출하는 것을 막기 위해 일정한 기간동안 실화를 검출하지 않았던 부분을 포함한 전 구간에서 실화 진단

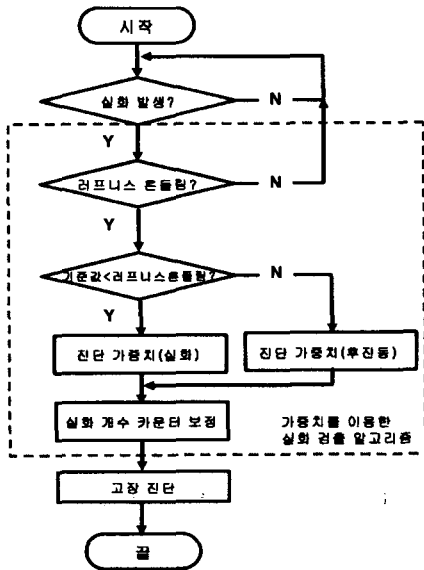


Fig. 4 Flow chart

을 수행하므로써 실화 발생시 신속한 진단을 할 수 있기 때문에 카탈리스트 손상을 막고 대기 오염을 줄일 수 있다.

3. 알고리즘의 구현

본 알고리즘을 구현하기 위해 로직 설계는 ETAS 에서 개발한 내장형 시스템 제어 소프트웨어의 개발을 위한 통합 툴인 ASCET-SD/TIP를 사용하였다. 이 툴은 프로그래밍 뿐만 아니라 시뮬레이션 기능을 갖추고 있어서 실차에서 실험하기 전에 작성한 코드의 동작을 미리 검증할 수 있게 해준다. 시스템을 모델링한 후 이를 코드로 생성하고, 시뮬레이션을 통한 검증을 거쳐 실제 차량에서 실험하기 위한 전 단계에 이르기까지의 단계적 과정이 모두 지원 되므로 개발이 편리하다.

3.1 로직 구현

ASCET-SD를 이용하여 로직을 구현하였다. 기존의 방식과 달리 실화 검출 중지 구간에서도 실화를 검출하여 진단 성능을 높이기 위해 가중치를 계산하는 모듈과 적용하는 모듈을 구현하였다. 두개의 모듈은 다음과 같다.

Fig. 5는 실화 진단 가중치를 계산하는 모듈을

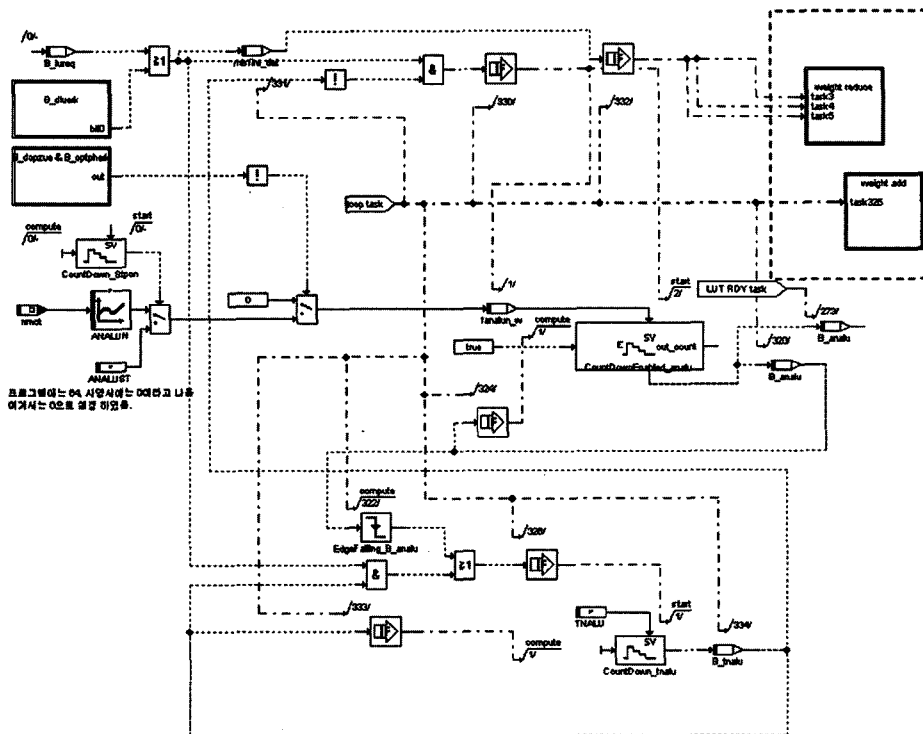


Fig. 5 Module for calculation of the weight factor

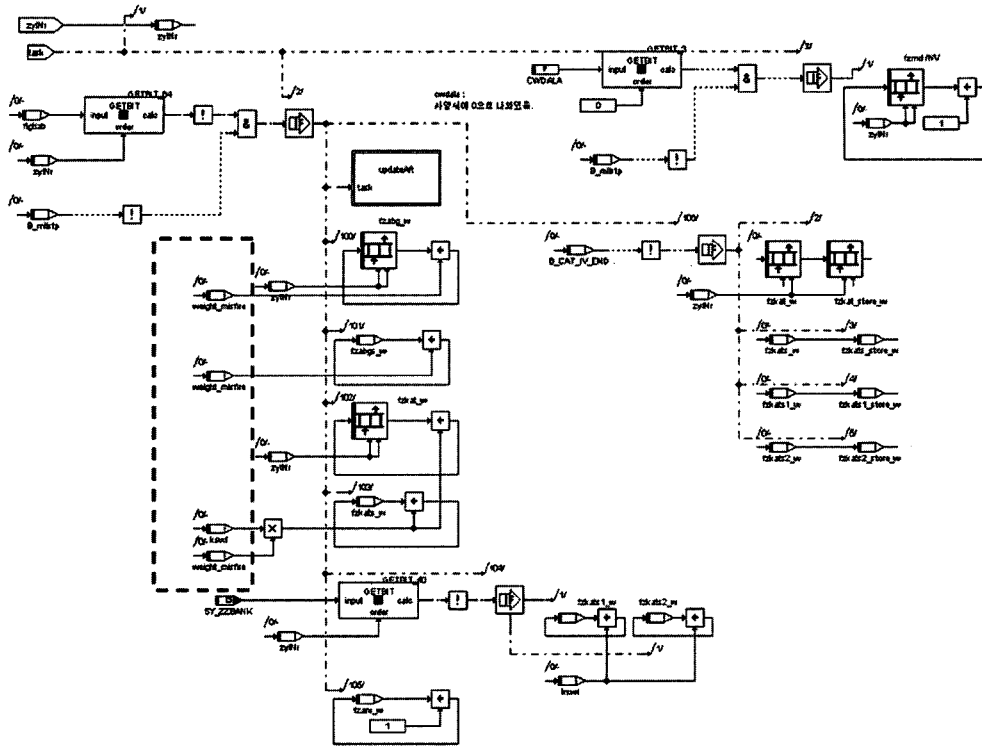


Fig. 6 Module for counting the misifre

ASCET-SD로 구현한 것이다. 점선 부분은 러프니스가 흔들릴 때 기준값과 비교하여 실화 진단 가중치를 계산하는 부분이다.

Fig. 6은 실화일 확률에 따라 계산된 가중치가 실화를 카운트하는 모듈에 적용되어 실화 검출 중지 구간에 대한 보정이 수행되는 것을 보여준다. 점선 부분은 실화 개수를 카운트할 때 가중치를 사용하여 보정을 수행하는 부분이다.

3.2 시뮬레이션

구현한 로직에 대하여 ASCET-SD를 사용한 시뮬레이션을 수행하여 적용 가능성을 확인하였다. Fig. 7은 ASCET-SD를 사용하여 실화 진단 가중치의 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 가로축은 시간이고 세로축은 가중치의 크기이다. 전 구간에서 실화를 검출할 수 있게 프로그래밍 하였기 때문에 전체 구간에서 실화 진단 가중치가 계산되는 것을 확인할 수 있다.

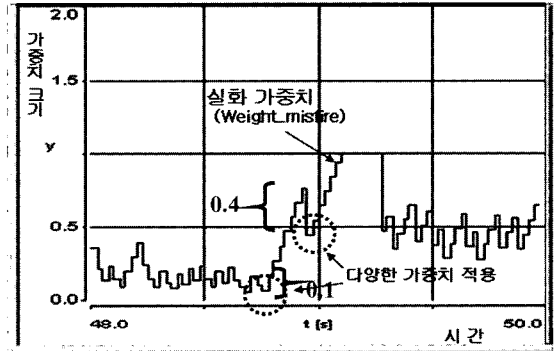


Fig. 7 Simulation of the weight factor

3.3 실차 실험

3.3.1 실차 실험 환경

ASCET-SD/TIP으로 구현한 제어 로직을 컴파일하여 ECU에 다운로드 가능한 HEX 코드 및 변수들의 주소 및 형식에 대한 정보를 담고 있는 ASAP 파일을 생성하였다.

Fig. 8은 ASCET-SD 구현 및 검증 단계에서 실차

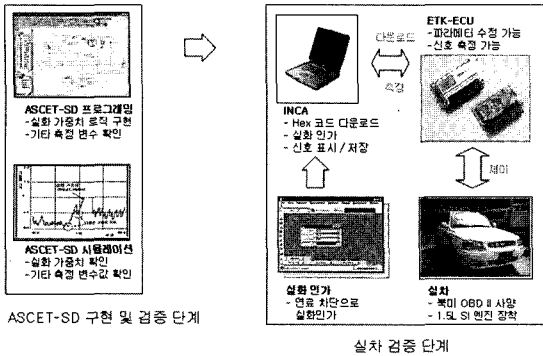


Fig. 8 The environment for the experiment

검증 단계까지의 과정을 나타낸 것이다. 로직을 컴파일해서 추출한 HEX파일은 전용 커넥터와 이더넷 프로토콜을 사용해서 연결해 주는 장비인 ES1000을 통하여 ETK-ECU에 다운로드 하였다. ETK-ECU는 일반 ECU의 롬을 플래시 롬 및 듀얼 포트 메모리로 대체한 것으로서 ECU 소프트웨어를 다운로드할 수 있고, 소프트웨어에서 사용하는 데이터들을 온라인으로 수정할 수 있다. 실험에 사용된 차량은 북미 사양으로 양산된 현대 자동차의 베르나이며 가솔린 엔진 1.5L를 장착하고 있다. 기본 엔진 제어를 수행하기 위해 시스템 전자 연구실과 현대 자동차측이 공동으로 개발한 엔진 제어 시스템을 사용하였다. 이 기본 엔진 제어 소프트웨어에 가중치를 이용한 실화 검출 모듈을 추가하여 실험을 수행하였다.

3.3.2 실차 실험 결과 및 분석

실제 차량에서 기존 로직과 가중치를 이용한 실화 검출 로직을 검증하였다. 실화를 임의로 인가하기 위하여 기본 엔진 제어부내의 연료를 차단하는 부분을 손쉽게 제어할 수 있도록 수정하였다. Fig. 9는 기존 로직을 실험한 결과이다.

연료를 차단한 후부터 실화 개수를 세다가 임계값을 초과하면 고장으로 진단하여 MIL 램프가 점등되는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 가중치를 이용한 실화 검출 로직을 실차에서 실험한 결과이다. 실화를 인가하는 플래그를 활성화 시키면 실화 개수가 임계값을 초과하는 순간에 고장으로 인식하여 MIL 램프가 점등되는 것을 확인할 수 있다. 실험 결과에서 고장 진단 시간이

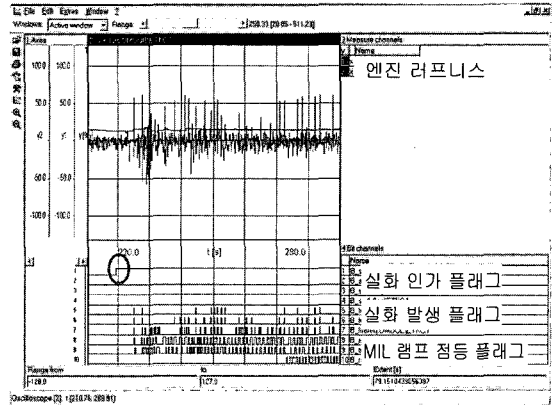


Fig. 9 Experiment of original algorithm

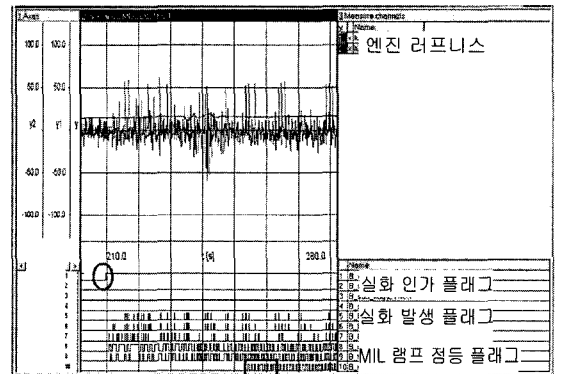


Fig. 10 Experiment of weight factor algorithm

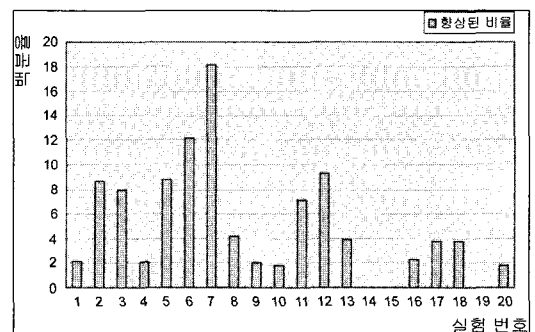


Fig. 11 Result of experiment

기존 로직보다 8초 빠른 것을 확인할 수 있다.

Fig. 11은 실차 검증을 20회 수행하여 기존 로직에 비해 가중치를 이용한 실화 검출 로직이 향상된 정도를 백분율로 나타낸 것이다. 이 결과의 평균을 계산하면 고장 진단까지 걸린 시간이 약 4.82% 향상된 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

- 1) 본 논문은 가중치를 이용한 실화 검출 알고리즘을 제안하고, 이를 로직으로 구현한 후 실제 차량에서 검증하였다. 이를 위해 실화와 후진동을 구별하는 기준값을 설정하는 방법과 실화일 확률을 나타내는 실화 진단 가중치를 계산하는 방법을 제시하였다.
- 2) 가중치를 이용한 로직은 기존 로직에 비해 4.82% 빠른 고장 진단을 수행하여 카탈리스트의 2차 산화를 방지하고 HC의 과다 배출을 조기에 막아 대기 오염 방지에 기여 할 것으로 기대된다.

References

- 1) Toyota Motor Company, Emission Analysis, Toyota Motor Sales, 2000.
- 2) Toyota Motor Company, OBD II Overview of on Board Diagnostics, Toyota Motor Sales, 2000.
- 3) W. Herden and M. Kusell, "A New Combustion Pressure Sensor for Advanced Engine Management," SAE 940379, 1994.
- 4) Y. K. Chung, C. S. Bae, S. M. Choi and K. J. Yoon, "Application of a Wide Range Oxygen Sensor for the Misfire Detection," SAE 1999-01-1485, 1999.
- 5) D. Lee and G. Rizzoni, "Detection of Partial Misfire in IC Engines using Measurement of Crankshaft Angular Velocity," SAE 951070, 1995.
- 6) M. Klenk, "Method and Arrangement for Determining Misfires in an Internal Combustion Engine," US Patent 5, 231, 869, 1992.
- 7) D. B. Choi, "A Study on an Adaptive Three-Way Catalyst Model for the Monitoring Algorithm," Transactions of KSAE, Vol.11, No.3, pp.65-70, 2003.
- 8) D. Moro, "Misfire Pattern Recognition in High Performance SI 12-cylinder Engine," SAE 980521, 1998.
- 9) N. Cavina and F. Ponti, "Engine Torque Nonuniformity Evaluation using Instantaneous Crankshaft Speed Signal," Vol.125, Transactions of the ASME, October 2003.