

# 자동차의 입출력 신호 검출을 통한 전자제어 시스템의 고장예측기술 Failure Forecasting Technology of Electronic Control System Using Automobile Input/Output Signal Detection

이중순 · 손일문

J. S. Lee and I. M. Son

(접수일 : 2008년 10월 7일, 수정일 : 2009년 1월 2일, 채택확정 : 2009년 1월 15일)

**Key Words** : Fault Generating Program(고장발생프로그램), Failure Mode(고장모드), ECU(엔진전자제어시스템), Karmann Vortex Mass Airflow Sensor(칼만와류방식 공기유량센서), Client(네트워크상에서의 결과 취득자)

**Abstract** : Electronic control system of the engine is composed of various sensors and actuators. This paper is concerned with fault analysis for the stable operation of it. We suggest the technology that can systematically and reliably analyze fault causes of sensors and actuators by using the fault generating program. In results, we can acquire the systematic road map of occurring faults as well as the valuable information related to the operations of sensors and actuators. These results should be very useful to get the classification of fault causes, develop an electronic control system of engine, and review control strategies of it.

## 1. 서 론

자동차 엔진의 전자화 추세는 고유가 시대의 극복 요인으로서 뿐만 아니라 배기 규제와 함께 CO<sub>2</sub> 규제에 대응하기 위한 수단으로서도 반드시 필요한 부분이다. 따라서 엔진 분야에 대한 제어시스템의 신뢰성과 안정성의 확보가 중요한 문제로 부각되고 있다.

이는 제어 시스템의 복잡화는 물론, 자동화의 수준향상에 의해 전체적인 시스템의 규모가 커짐에 따라 고장 요인이 다양해지고 발생빈도도 증가하여, 고장 발생시 시스템에 미치는 파급효과가 엄청난 손실을 초래할 수 있기 때문이다<sup>1)</sup>.

일반적으로 고장진단은 시스템에서의 오동작 여부를 판단하기 위한 고장감지(Failure detection)단계, 발생한 고장의 종류를 알아내기 위한 고장분류(Failure isolation)단계 및 고장의 정도를 결정하는 고장식별(Failure identification) 단계로 이루어진다.

기존의 고장감지 및 분류방법은 크게 모델을 기반으로 한 방법과 모델을 기반으로 하지 않는 방법이 있다. 전자의 방법은 해당 시스템의 수학적 모델에 의해 제공되는 해석적인 기법을 기초로 하는 것으로서 상대추정 접근법과 파라미터 추정 접근법으로 나눌 수 있으며, 이는 시스템의 정확한 정량적 모델을 필요로 하므로 비선형성이 강하거나 운전환경에 따라 운전상태가 광범위하게 변하는 경우에는 적용이 어렵다는 문제점이 있다. 후자의 방법은 대상 시스템의 측정치, 경험 또는 물리적 검토를 기초로 한다.

고장 예측을 위한 기법에는 시스템의 출력값이 제한된 범위를 벗어났는지의 유무를 판단하여 고장을 감지해내는 한계치검사 기법, 전문가 시스템 기법 및 신경회로망을 이용한 방법 등이 있으며, 최근에는 학습기법과 입출력데이터로부터 비선형함수 표현이 가능한 신경회로망을 고장진단에 이용한 연구결과가 많이 발표되고 있다<sup>2)</sup>.

신경회로망을 이용한 대부분의 연구에서는 발생 가능한 모든 고장을 미리 예측하여 신경회로망으로 고장모델을 구축한 뒤, 고장이 발생하면 구축한 고장모델 중에서 가장 유사한 것을 선택하여 고장을

이중순(책임저자) : 동명대학교 자동차공학과  
E-mail : jslee@tu.ac.kr, Tel : 051-629-1621  
손일문 : 동명대학교 자동차공학과

분류한다. 그러나 사전에 모든 고장에 대한 모델을 구축하는 것이 매우 어렵다는 문제가 있다. 또한 전문가의 지식과 경험을 토대로 고장 진단하는 기법이 많이 연구되고 있지만, 이는 감시되는 데이터가 운전범위를 벗어나는 시점부터 비정상 데이터로 감지되어 진단하므로 운전범위를 벗어나지 않고 이상 상태로 진행되고 있는 경우는 진단을 수행할 수 없는 단점이 있다<sup>3)</sup>.

고장모드(Failure mode)는 고장 메커니즘과 구별되어야 한다. 고장모드는 고장 메커니즘을 나타내는 소프트웨어적인 수단이며 고장의 근본원인은 아니다. 고장난 시스템에서 최초로 확인 가능한 것은 고장모드이며, 이를 통해 고장 메커니즘에 대한 근본원인의 확인이 가능하며, 이를 통해 최종적으로 고장분석(Failure analysis)이 가능하고 정비할 수 있다.

엔진 전자제어시스템에 관련된 센서 및 액추에이터의 고장은 탐승하고 있는 운전자는 물론 주위 차량의 안전과 직접적인 관련이 있기 때문에 정밀하고 통합적인 제어가 가능한 시스템의 구현이 필요하다.

본 연구에서는 엔진 분야의 고장발생요인에 대한 보다 체계적이고 신뢰성 있는 분석시스템의 개발과 방법을 제시하고, 고장발생시 상황대처능력과 엔진 전자제어의 안정된 구현이 가능한 엔진 고장예측기술에 대하여 고찰하고자 한다<sup>4)</sup>.

## 2. 고장분석 시스템

고장이란 사용중인 제품에 어떠한 형태의 스트레스가 가해져 성능이 규정된 규격보다 저하되는 상태를 말하며, 고장분석이란 고장이 발생하였을 경우에 그 원인을 규명하는 일련의 과정을 일컫는다. 이를 JIS Z8115에서는 “잠재적 또는 현존하는 고장의 메커니즘, 고장발생률, 그리고 고장의 영향을 검토하고 시정방안을 검토하기 위한 계통적인 조사연구”라고 정의하고 있고, MIL-STD-883에서는 “보고된 고장을 확인하고, 고장의 모드 또는 메커니즘을 규명하기 위해 전기적 특성, 물리적, 금속학적, 화학적 등 다양한 분석기술을 이용하는 조사연구”라고 정의하고 있다<sup>5)</sup>.

본 연구에서는 엔진전자제어를 구성하는 요소중에서 입력과 출력을 담당하는 각종 센서 및 액추에이터에서 발생하는 고장에 대한 요인 분석과 고장 발생 프로그램과 데이터 신뢰성 및 분석과정의 확립을 위한 입·출력값에 대한 체계적인 데이터 분석과 전기적인 고장 발생요인들을 고려하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 고려된 고장분석시스템으로서 예측 가능한 고장 발생부분과 측정 방법 및 각종 고장요인을 나타낸 것이다. 이는 기존의 전자제어 장비에서는 단순히 발생된 고장의 진단만 가능한 것에 비하여 예측 가능한 고장 진단을 인위적으로 발생시켜 정상상태와 비교할 수 있다는 것이 특징이다.

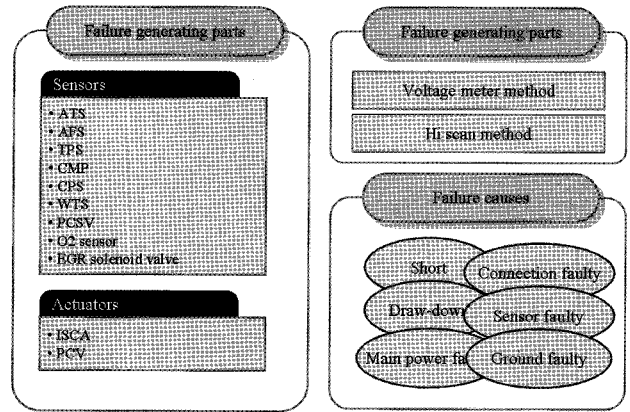


Fig. 1 The selected failure analysis system

## 3. 고장발생 프로그램

Fig. 2는 고장발생 프로그램과 전체 고장분석 시스템의 체계를 나타낸 것이다. 시스템 활용의 용이성 확보를 위하여 고장발생 프로그램은 물리적으로 하드웨어 시뮬레이터와 시리얼 통신 분배기 사이에 연결하며, 하드웨어 시뮬레이터는 고장 상태에 대한 전송만을 하고, 이후의 각각의 정보는 시리얼 통신 분배기를 통하여 네트워크상의 모든 클라이언트에 전송 가능하도록 설계하였다.

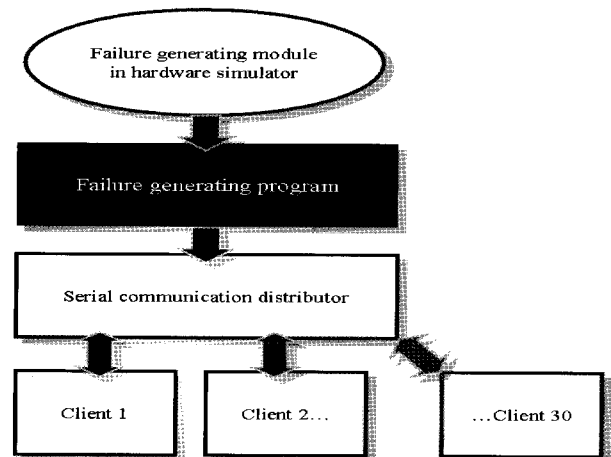


Fig. 2 The structure of failure analysis system and fault generating program

### 3.1 프로그램의 구성

고장발생 프로그램은 고장 발생, 고장 확인, 개별 고장항목 확인의 세부분으로 구성되어 있다. 발생 화면에서 고장 항목과 대상 클라이언트를 지정한 후, 전송버튼을 통하여 각각의 클라이언트에게 고장을 발생시킨다. 이렇게 발생되어진 각 클라이언트들의 현재 상태는 클라이언트 상태보기 화면과 개별 고장항목 확인 화면을 통하여 분석되고 관리된다.

Fig. 3은 고장발생 프로그램의 메인화면을 나타낸 것이다. 메인화면에는 실차량에서 발생 가능한 센서나 액추에이터의 단품 결합 또는 배선 고장 등과 같은 고장 위치와 단선, 접촉 불량 등과 같은 고장 조건 및 일정 영역에서의 임의조건고장 등을 표시하였다. 따라서, 센서와 액추에이터 종류 및 고장 발생요인의 선정이 가능하여 분배기를 통하여 선택된 클라이언트로 데이터를 전송할 수 있다.

자동차 고장 진단 등을 다루는 튜입 분야는 매우 중요한 기술적 요소이며, 이 기술을 일반화하여 보급할 수 있다면 효율적인 차량의 관리가 될 수 있음은 물론, 경제적 가치도 상당할 것으로 보인다.

Fig. 4는 클라이언트에 전송된 고장 요인 및 고장 예측의 결과를 볼 수 있는 클라이언트 상태 모니터링을 위한 화면을 나타낸 것이다. 이는 고장발생 프로그램과 클라이언트 사이에 양방향 통신이 가능하도록 되어있다. 모니터링 화면을 통하여 선택된 클라이언트에 부여된 현재 상태의 고장 항목을 확인할 수 있고, 이를 주어진 제원값과 비교하여 고장 유무를 판정할 수 있고, 한계치와 비교하여 고장 진단을 예측할 수 있다.

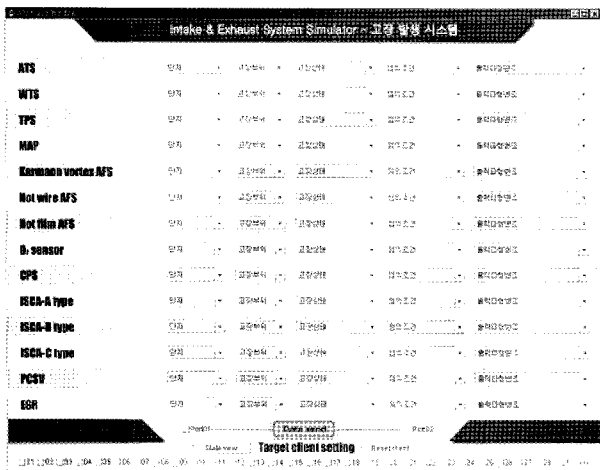


Fig. 3 The main window of failure generating program

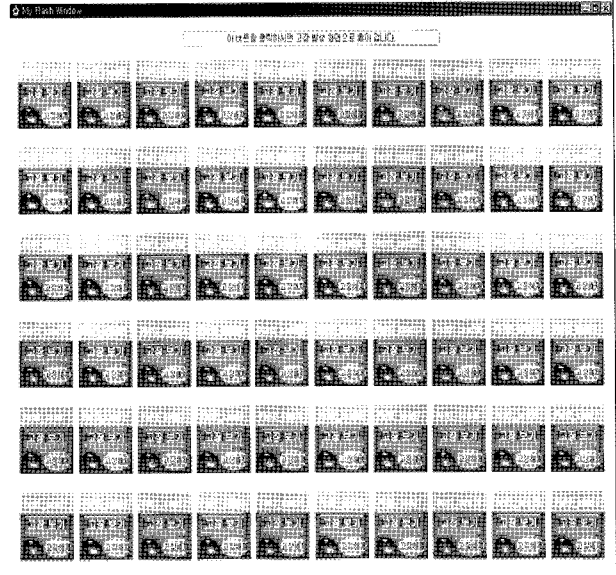


Fig. 4 A monitoring window of failure states and diagnostic results of client computers

### 3.2 프로그램 데이터 처리

Data의 입출력 방식은 프로그램 운용자가 지정한 고장항목들을 일정한 형식을 가진 데이터로 변환하여 해당 클라이언트에 대해 배열 객체에 저장하는 형식을 취하였다.

프로그램의 특성상 프로그램 종료 직전 지정되었던 고장에 대한 데이터를 저장할 필요가 없기 때문에 Database 사용 없이 단순 Array data 운용 방식을 채택 하였다.

즉, 데이터의 통신에 있어서, TCP/IP를 이용하는 것이 더 효율적일 수 있겠지만, 네트워크가 없는 경우의 필드 환경을 고려하고, 더욱이 개발된 프로그램이 하드웨어 제어의 기능도 내포하고 있기 때문에 본 연구에서는 직렬통신을 이용하였다. TCP/IP를 이용하여 프로그래밍을 할 경우 클라이언트의 제어에는 문제가 없지만, 하드웨어의 제어를 위해서는 더 많은 장비와 기술이 필요하거나, TCP/IP와 직렬통신의 혼합형으로 프로그래밍을 해야 하는 비효율적인 문제가 발생할 수도 있기 때문이다.

Fig. 5와 Fig. 6은 고장발생 프로그램과 클라이언트와의 동기 프로그램을 각각 나타낸 것이다. 클라이언트로 보내어진 고장 항목은 가상 시뮬레이터 내부에서 미리 정의된 형태의 고장 경향을 표출하게 만들어 주고, 클라이언트 유저는 발견된 고장 항목을 선택하여 메인 발생 프로그램으로 재전송 하게 된다. 이때 동기 프로그램은 클라이언트로부터 받은 정보를 최초 고장발생시 저장된 정보와 비교

분석하여 해당 클라이언트 유저가 찾아내지 못한 고장 항목만을 저장한다. 이는 개별 고장항목 확인 화면에서 확인 가능하며, 이 내용을 토대로 클라이언트 유저의 가상 시뮬레이터에 대한 고장 상태를 정상화 시킬 것인가에 대한 판단을 하게 된다.

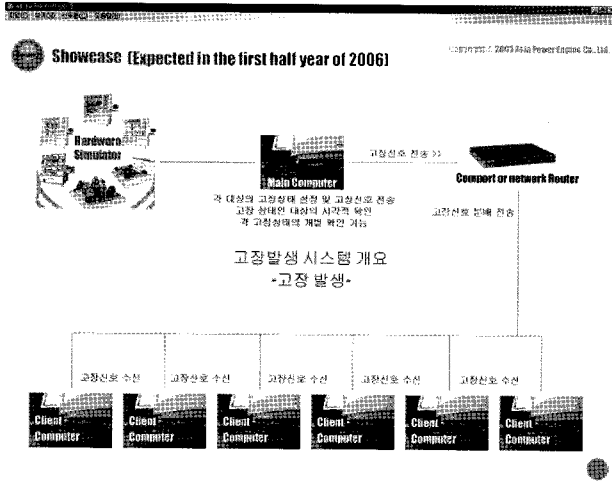


Fig. 5 The concurrent program with main and client computer

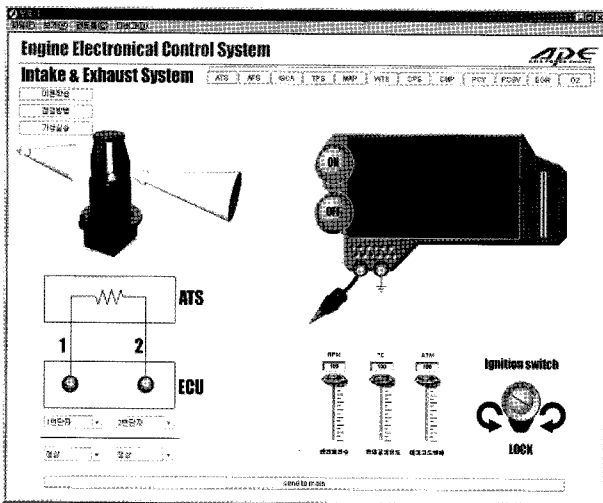


Fig. 6 The failure forecasting program in client

#### 4. 고장 예측과 분석에 대한 사례연구

본 장에서 제시하는 내용은 개발된 시스템을 이용하여 실제 고장분석을 행한 결과이며, 센서 출력값은 하드웨어상의 인디케이터와 분석프로그램을 통하여 비교 확인할 수 있도록 하였다. 고장 발생된 출력값의 분석프로그램은 Labview7.0(National Instrument Co., Ltd)을 사용하였다. 본 연구에서는 칼만와류방식 AFS(Airflow sensor)와 WTS(Water

temperature sensor)의 고장 발생시 측정되는 출력값을 정상 상태와 비교하는 고장분석을 행하였다.

#### 4.1 칼만와류방식 AFS의 고장분석

칼만와류방식 AFS는 와류가 발생하는 공기 통로를 횡단하여 한쪽 끝에서 초음파를 발진시키고, 다른 쪽에서는 이를 수신했을 때 수신신호가 와류의 수만큼 흐트러지는 현상을 이용하여 와류를 검출하는 방식으로, 칼만 와류식 질량유량센서(Karmann vortex mass airflow sensor)라고 부른다.

Fig. 7은 AFS(Air flow sensor)의 상태 확인을 위하여 기관 회전수 2000rpm, 흡입공기온도 40℃인 경우의 정상 상태에서의 흡입공기유량에 따른 출력신호의 변화를 나타낸 것이다.

흡입공기유량이 작으면(Low air flow)칼만와류의 발생 주파수가 낮으므로 수신되는 초음파 주파수가 낮아 센서의 출력 주파수가 감소하는 반면, 흡입공기유량이 많으면(High air flow)초음파 주파수가 높아져 출력 주파수가 증가한다.

Fig. 8은 기관 회전수 2000rpm, 흡입공기온도 0℃인 조건에서 칼만와류방식 AFS의 센서내부 단선인 경우의 출력신호를 나타낸 것이다.

Fig.7과 비교하여 볼 때, 운전 조건에 따라서 발생하는 일정 주파수를 가진 파형이 나타나지 않음을 볼 수 있는데, 이는 센서 내부의 단선에 기인한 현상이다. 즉, ECU는 AFS로부터 입력된 흡입공기량 신호를 근거로 엔진에 분사할 연료 분사량을 결정하게 되는데, 이와 같이 AFS의 출력값 이상으로 인하여 ECU에 정상적인 신호가 입력되지 않기 때문에 ECU는 정확한 공연비 제어를 하지 못하여 공회전 부조, 차량의 출력 부족, 배기가스의 다량 배출 등의 현상이 발생한다.

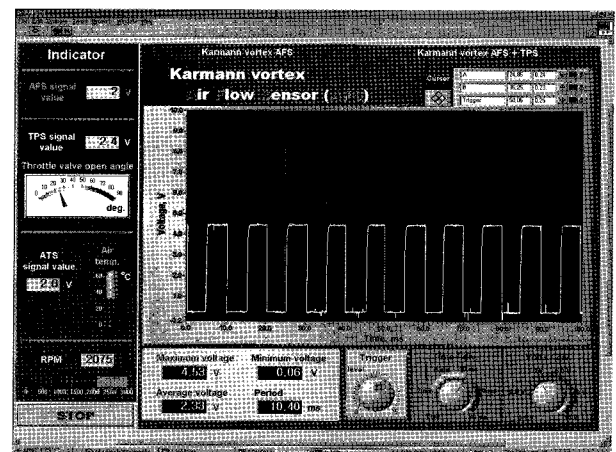


Fig. 7 Signals of AFS in normal state

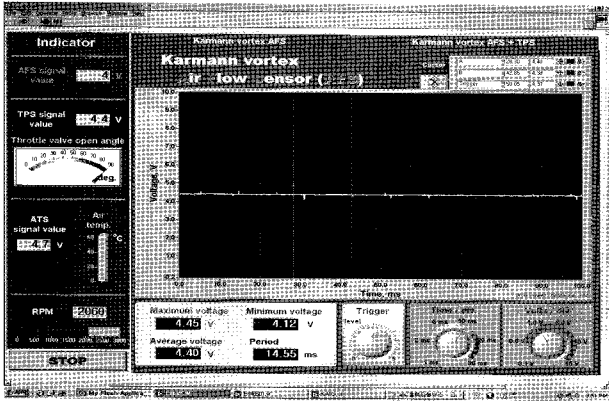


Fig. 8 Signals of inner disconnection in AFS

Fig. 9는 기관회전수 2000rpm, 흡입공기온도 40℃ 일 경우에 칼만와류방식 AFS의 출력주파수가 출력 변조되어 약 30Hz의 차이가 나는 고장상태를 나타 낸 것이다. 이와 같이 출력주파수가 변조된 경우에 크랭킹은 가능하지만, 엔진의 시동성 불량과 함께, 불안정한 엔진의 부조현상 및 변속시 지연과 충격을 초래하는 현상을 보인다.

4.2 냉각수 온도센서(WTS)의 고장분석

냉각수온도센서(Water temperature sensor)는 기본적으로 엔진 냉각수 온도의 변화에 따라 저항이 달라지는 부특성 서미스터의 특성을 가지고 있다.

Fig. 10은 냉각수온도가 70℃인 경우의 전압값을 나타낸 것으로 WTS 출력값은 1.5V 범위를 보이며, 이는 정비 제원상 정상적인 상태이다. WTC 출력값은 시동시 기본 분사량의 결정은 물론, 점화시기, 공전제어를 위한 듀비타, 냉각팬 제어 등에 활용되는 값으로 중요한 의미를 가진다. 제시 외의 영역인 WTS의 동작온도 전영역에서 3.75V~1.4V 범위에서 일정한 값을 나타냄을 확인할 수 있었고 이를 통해 단선, 단락의 상태에 따른 고장예측이 가능함을 확인하였다.

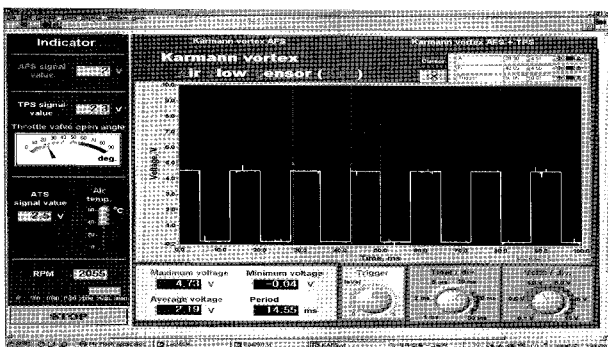


Fig. 9 Signals of AFS in output modulation state

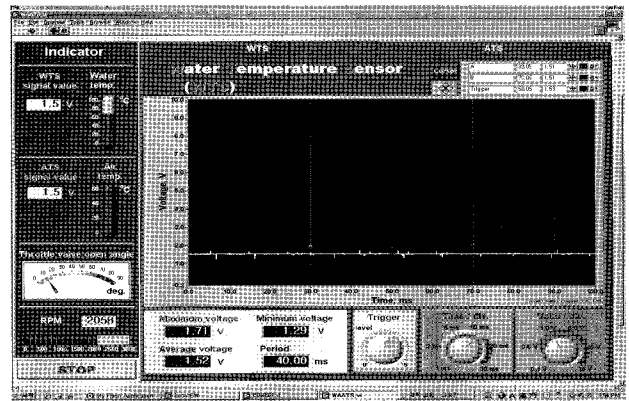


Fig. 10 Signals of WTS in normal state

Fig. 11은 WTS가 단선인 경우의 파형 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 출력 파형은 0V에 가까운 값을 보인다. 이러한 경우에는 냉각수 온이 규정값 이상의 매우 높은 온도 영역인 것으로 판단하여 해당 정보가 ECU에 보내지기 때문에 엔진의 부조현상 및 냉각수온도 보정요소에 영향을 주어 엔진이 비정상적인 운전상태가 된다.



Fig. 11 Signals of disconnection in WTS

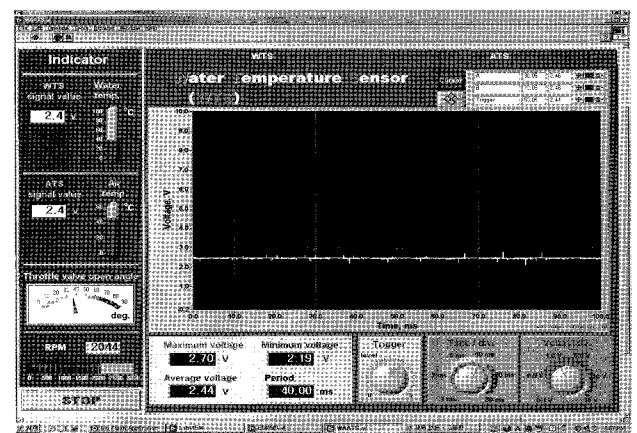


Fig. 12 WTS output abnormal state

Fig. 12는 냉각수온도가 70℃인 경우의 출력 전압 값이 2.5V로 나타나는 현상의 출력파형을 나타낸 것이다. Fig. 10가 비교할 때, 정상 상태에서 출력되는 전압값이 1.5V임에 비하여 1V 높은 출력이 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 경우에 ECU는 정상적인 온도조건보다 낮은 온도로 인식하여 정상적인 조건보다도 많은 량의 냉각수온도보정을 행하기 때문에 많은 연료가 보정 공급되게 되어 연료의 과다 소모와 함께 배기가 불량해지는 현상을 나타내게 된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 자동차의 주행중에 취득할 수 있는 각종 입출력 데이터 값을 고장발생 프로그램을 통하여 임의 발생시켜 분석하고, 이를 통해 고장발생의 예측이 가능한 포터블 시스템을 개발하였다.

고장 발생 프로그램을 이용하여 고장 발생을 임의적으로 조작 가능하기 때문에, 고장부위와 고장요인에 대한 고찰이 가능할 뿐 아니라, 차량 탑재시 운전자 정보화 시스템의 구현에 기여할 수 있다.

또한, 센서 및 액추에이터의 동작과 관련된 정보의 분석을 통하여, 고장발생에 대한 체계적인 로드맵을 작성할 수 있어, 엔진 전자제어시스템의 개발과 시스템 제어 전략에 기여할 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구의 수행에 있어 개발된 시스템의 디버깅 부분에 도움을 준 (주)APE의 강병무 대표이사과 박원호 선임연구원에게 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 문일기, 안장모, 이경수, 2004, "A Fault Diagnosis and Fault Handling Algorithm for a Vehicle Cruise Control System", Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp. 215~221.
2. M. M. Polycarpou and A. T. Vemuri, 1995, "Learning methodology for failure detection and accommodation", IEEE Contr. Syst. Mag., pp. 16~24.
3. T. Sorsa, H. N. Koivo, and H. Koivisto, 1991, "Neural networks in process fault diagnosis", IEEE Trans. Syst., Man and Cybern., Vol. 21, No. 4, pp. 815~825.
4. 이중순 외 3인, 2006, "센서 및 액추에이터 입출력 고장 발생 프로그램을 통한 전자제어 시스템의 고장예측기술", KSAE06-Y0017, pp. 30~35.
5. 장경영, 2003, "고장분석 절차와 장비", Transactions of KEE, Vol. 43, No. 6, pp. 55~57.