

참조센서가 없는 상용/전술차량용 APS내부 회로 불량 오작동에 미치는 영향

조용진 · 조행묵[†]

공주대학교 기계자동차공학전공

(2015년 10월 28일 접수, 2015년 1월 20일 수정, 2015년 1월 30일 채택)

Effect of Internal Circuit Faults of Non-reference Type APS Malfunction on Commercial and Tactical Vehicles

Jo Yong Jin, Haeng Muk Cho[†]

Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University (KNU)

(Received 28 October 2015, Revised 20 January 2016, Accepted 30 January 2016)

요 약

전자 제어 가속 시스템에서, APS 센서는 운전자의 의지를 반영하는 가장 중요하고 유일한 부품이다. 특히, 참조 센서가 없는 형식의 APS는 이 시스템에 있어서 상당히 중요한 영향을 미칠 수 있는 부품이 아닐 수 없다. 이러한 형식의 부품은 참조 값을 제공할 수 없기 때문에 고장 상황에서 운전불능 상태나 고장 복구모드 진입이 더욱 용이할 수 있다. 만약 이러한 상황이 발생하게 되면, 이는 특히 전장에서 운전자와 군인 그리고 전쟁 물자 관리에 매우 위험한 조건이 될 수 있다. 전자제어 시스템이 전술 차량에 있어서는 반드시 필요한 시스템이 아니라고 할 수 있다. 오히려 전술 차량은 군인의 생명과 전쟁 물자를 보호, 구명, 탈출하기 위해 반드시 전자제어 시스템으로부터 독립된 수동제어 시스템이 준비되어 있어야 한다. 그리하여, 파손되어 수분이 침투된 경우의 APS 출력에 대한 연구를 하게 되었다. 만약 운전자의 의지와 무관하게 출력값이 변화된다면, 참조센서가 있는 형식의 APS라 할 지라도, 이는 조정 불가능한 엔진 회전속도 변화 또는 고장복귀 모드에서의 성능 저하에 영향을 미치며, 이는 어떤 종류의 APS가 적용된 경우에도 전술 차량에 수동제어 시스템이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

주요어 : 액셀포지션센서, 고장복귀모드, 홀 효과

Abstract - In the condition of electronic controlled acceleration system, APS Sensor is the only and the most important parts to reflect the will of driver. Especially, the non-reference type APS is the critical part of this system. It can't provide the cross-reference values and it will make the vehicle goes into the 'NMC(Non-moveable condition)' or 'Limp-home mode' on the malfunction situation easier. If the situation is happened, it's very dangerous condition for the drivers, soldiers and war material systems of battlefield. The electronic control is not a necessary system for the tactical vehicles. The tactical vehicles must be prepared the manual control system independently from the electronic control system to escape, save and rescue the soldier's life and war materials. Therefore it was studied the water-penetrated broken APS output. If the output value was changed without driver's will, even the cross-reference type APS, it will effect the uncontrollable engine RPM changing or the performance down on limp-home mode. It means the manual control system of tactical vehicle is needed for any kinds of APS.

Key words : Acceleration Position Sensor, Limp-home Mode, Hall-Effec

[†]To whom corresponding should be addressed.

Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju
National University (KNU) 275, Budae-dong, Cheonan-si,
Chungcheongnam-do 330-717, South Korea.
Tel : 041-521-9287 E-mail : hmcho@kongju.ac.kr

1. 서론

전자제어 기관은 이제 최적의 연료량이 적기에 분사될 수 있도록 전자적 처리 프로세스로 분사량을 제어함으로써 출력과 연비의 향상 및 배기 유해가스의 저감을 대폭 실현하게 되었다. 특히 디젤엔진 분야에서 이와 같은 제어가 괄목할 만한 성장을 보이고 있고 게다가 더욱 강화된 환경 규제에 의해 클린 디젤의 저공해 시스템으로 개선되어 감에 따라 점차 디젤 기관이 더욱 환경친화적인 장치로 인식되고 있는 경향이다. 이는 대형 상용 차량이나 전술 차량에도 마찬가지로 적용되고 있는 추세이다. 현재 특수차량에서 운용 중인 전술차량들이 순차적으로 디젤 커먼레일 전자제어 엔진을 적용한 차량으로 대체되어가고 있고 그에 따라 구형 2행정 대형 엔진은 사양되어가는 방향으로 진행되는 중이며 또한 우리나라에도 그와 같은 움직임이 시작되어 점차 대형 전술차량을 중심으로 상용차와 동일한 시스템의 동일 사양 차량으로의 대체가 추진되고 있다. 즉, 전장에서의 차량작동 신뢰성을 최우선 과제로 삼아 최대한 전자제어 시스템을 배제하고 액셀러레이터 페달 케이블 방식의 분사펌프 연료량 제어 전술차량 형태를 고수했던 과거로부터 점차 전자제어 엔진 시스템과 전자제어 자동 변속기 적용을 통해 연료소모량을 줄여 운행거리를 늘리고 전투 중 누구나 운전이 가능하도록 편리함을 추구하는 방향으로 전환 되어가고 있는 것이다. 현재 연구 대상으로 채택한 특수 전술차량은 이와 같은 시스템이 모두 적용된 최신형 사양의 대형 화물차로서 위에서 나열한 전자제어 엔진시스템과 함께 풀 오토매틱 트랜스미션 시스템과 전자제어 타이어 공기압 조절 시스템 CTIS (Central Tire Inflating System) 과 같은 최신의 차량 전술상황 적응 제어 기술이 적용되어 있다. 그러나 전술 차량의 운용환경 특성 상 차량 내부와 외부가 언제든지 오염되거나 손상될 수 있고 특히 수중작전 시 차량의 부품들이 모두 물에 잠길 가능성이 높으므로 전기 전자부품들의 방수 처리는 무엇보다 중요한 요소가 아닐 수 없다. 또한 운전자와 차량이 작전에 투입되어 운용 중이거나 전술 중일 경우 운전자에 의해 또는 전술 무기에 의해 차량의 각 부위가 손상될 가능성이 상당하다. 그 중 운전자의 의지가 반영되는 최종 단 부품인 APS (Accelerator pedal Position Sensor) 는 차량의 운행과 운전자 및 동승자와 물자의 안전에 있어 가장 중요한 부품이라고 볼 수 있다. 만일 작전

중 APS의 오작동이 발생할 경우 차량 운행이 불가하여 적군으로부터 집중공격 대상이 됨으로써 병사가 사상하거나 또는 페달 컨트롤이 불가하여 가속 제어가 되지 않음으로써 추돌, 충돌, 전복, 폭발 등의 대형 인명사고가 발생할 가능성이 있음을 배제하지 못하므로 운전자의 의지와 관계없는 차량의 작동에 가장 큰 영향을 미칠 APS센서에 대해 여러 환경 변화에 따른 센서 전압 출력값 측정을 통해 그 영향을 간접적으로 검토해 보고자 한다. 일반적으로 상용 차량의 APS는 레퍼런스 센서가 장착되어 APS1, APS2의 별도 신호를 상호 참조하여 인식한다. 두 센서간 출력값은 정확히 1/2의 수치를 가지며 두 출력값을 비교하여 액셀러레이터 페달 포지션 센서의 작동상태 정상 여부를 판단하게 된다. 그러나 연구 대상의 특수 전술차량은 하나의 APS 센서가 장착된 액셀러레이터 페달이 설치되어 있으며 이에 대한 참조값이 없다. 따라서 만약 전술이나 작전 중 이 APS에 손상을 입거나 침수되는 경우 자칫 차량 자체를 운용하지 못할 수도 있는 최악의 상황을 가정할 수 있다. 이는 상용차의 경우에도 예외 없이 상존할 수 있는 위험 가능성이므로 이제 간략한 실험을 통해 가상으로 설정한 상황에서 센서 출력 값이 어떻게 변화되는지에 대한 결과를 도출하고 그에 따른 영향을 유추해 보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 부품은 2.5톤과 5톤 특수 전술차량(Medium Tactical Vehicle)에 적용된 전자제어 엔진 회전속도 제어용 APS장착 전자식 액셀러레이터 페달이며 해당 부품에 공급된 전원은 임의로 제작한 5V 출력 파워 서플라이를 이용하였다. 해당 부품은 IP67 등급의 방진 방수 처리가 되어 있으며 이에 따라 센서 내부는 점성이 있는 유동 에폭시로 충진되어 2차 누수방지 장치가 되어 있다. 이에 실험을 위해 센서 내부를 임의로 손상시켜 누수를 구현하였다.

Fig. 1과 같이 하나의 APS가 장착되어 있다.

Fig. 2는 일반 상용 트럭에도 적용되어 있는 모델이다.

Fig. 3은 IP 67등급의 방진 방수 밀봉처리가 되어있다.

Fig. 4의 3핀 커넥터는 전원(R), 접지(B), 출력(W)의 전형적인 센서 배선으로 구성되어 있다.

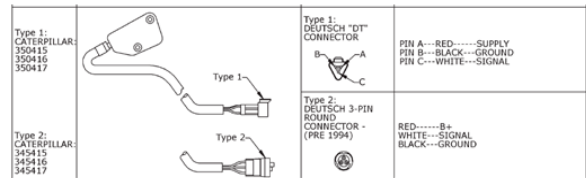
페달 리턴 베어링은 스프링 내장형이며 윤활유 내장형으로 밀봉되어 있다. 센서와는 한 개의 판형 축으로



Fig. 1. APP (Accelerator Pedal with APS)



Fig. 4. APS 3 pins connector



Source: Catalog, Williams Controls Document Number 119742 Rev. G 11

Fig. 5. APS 3 pins connector for Caterpillar



Fig. 2. Product brochure



Source: Catalog, Williams Controls Document Number 119742 Rev. G 11.

Fig. 3. Accelerator Pedal position Sensor



Fig. 6. Accelerator return bearings and roller

연결되어 상하 운동을 회전운동으로 변환, 위치 정보를 전달한다.

Fig. 8의 임의 제작한 파워 서플라이는 5.24V의 전원공급 출력값을 나타내고 있다. 센서 커넥터에 전원과 접지 배선을 직접 연결하여 센서에 전원을 공급한 후 전원공급 결과값을 표출하였다. 상온 약 25°C 환경에서 측정하였으며 수분 조건은 수분침투 상태와 침수 상태의 두 조건을 주어 측정하였다. APS의 특성상 전개와 전폐 두 조건의 비교가 명확하며 중간 개도

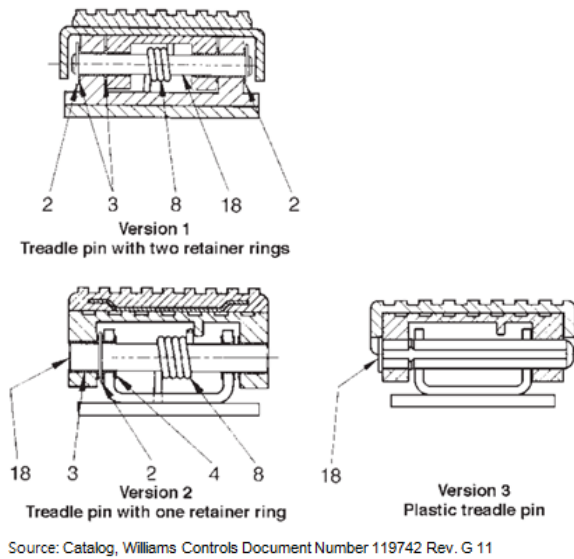


Fig. 7. Roller Shaft Treadle Pin Version



Fig. 8. Test layout

량은 정확한 위치 설정의 어려움으로 측정을 배제하였다. 따라서 개도량에 따른 APS 출력 전압값은 전폐와 전개의 두 조건으로만 한정하여 측정하였고 그 편차를 계산하여 수분 조건에 따른 센서 출력값의 편차가 ECU의 신호전압 해석에 영향을 주어 연료 분사량에 오작동을 일으킬 수준인가에 대한 간접적인 결론을 도출하고자 한다.

3. 실험결과 및 고찰

측정 결과 각 수분 조건에서 APS의 개도량에 따른 출력 전압값은 다음과 같다.

측정 결과 각 수분 조건에서 APS의 개도량에 따른 출력 전압값 편차는 다음과 같다.

Table 1. AP Sensor output voltage 단위: 전압 V

출력값	전폐	전개
건 조	0.710	4.160
수분침투	0.648	3.930
침 수	0.648	3.910

Table 2. AP Sensor output voltage deviation 단위: 전압mV

편차	전폐	전개
건 조	0	0
수분침투	-62	-230
침 수	-62	-250

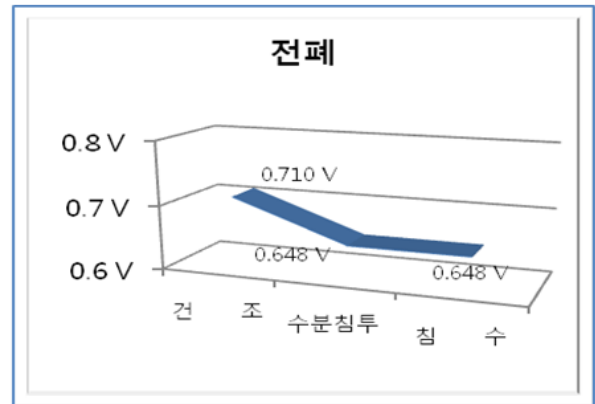


Fig. 9. APS output - Idle speed position

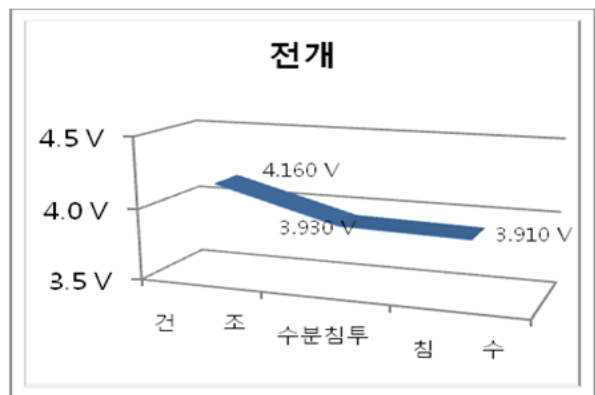


Fig. 10. APS output - Full throttle position

센서 출력값 측정 결과 정상 작동 시의 출력 전압은 전폐시 0.71V, 전개시 4.16V를 표출하여 센서가 정상적으로 작동함을 알 수 있다. 그러나 주어진 조건의

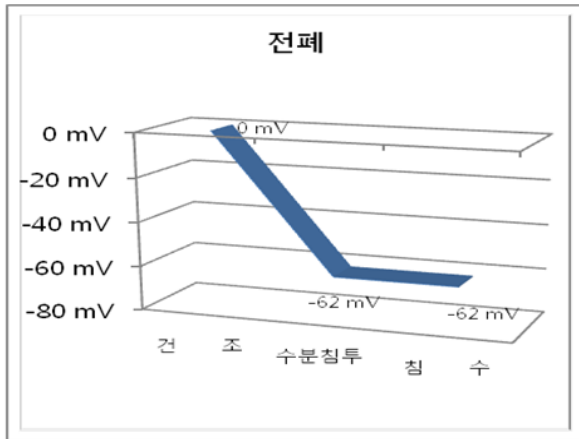


Fig. 11. Deviation-Idle speed position

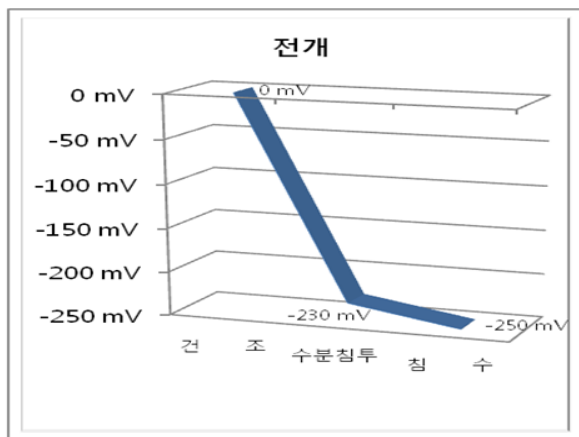


Fig. 12. Deviation-Full throttle position

수분에 노출된 상태의 APS는 그 출력값에 큰 편차를 보였고 이는 ECU의 센서 출력값 인식에 충분히 오류를 일으킬 수 있는 범위의 편차로 판단되었다. 그 편차는 수분 침투와 침수의 두 가지 조건에서 거의 동일하게 표출된 바 수분 노출 량에 상관없이 일단 수분에 노출되면 동일한 출력값 오류를 일으킬 수 있다는 결과를 얻게 되었다. 편차 값은 수분침투 상태의 센서가 전폐 시 62mV, 전개 시 230mV, 침수 상태의 센서가 전폐 시는 동일하면서 전개 시 250mV로서 전량 개도 시 두 조건 공히 약 0.2V 출력신호 전압값 부족을 겪게 되었다. 이는 ECU가 센서 고장으로 인식하지 못할 수 있는 정도의 편차로 ECU는 고장코드를 표출하지 않을 수 있지만 엔진 출력에는 충분히 영향을 미칠 수 있는 수치로서 엔진 회전수 제어에 어떤 형태로든 영향을 미칠 것이라는 것을 예상할 수 있고, 해당 실험에서 배제된 시간 변수를 고려할 때, 수분노출 즉시

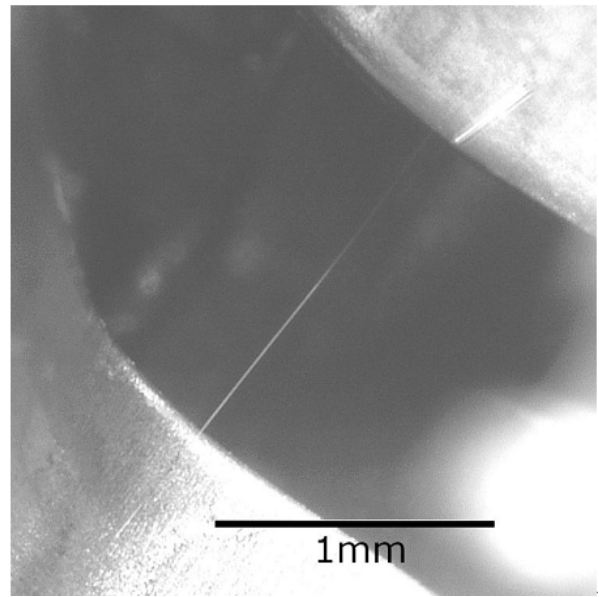


Fig. 13. Tin Whisker (via. NASA) [6]

측정된 위 값의 편차는 시간이 지날수록 더욱 증가되어 종래에는 ECU에서 고장으로 인식, 림프 홈 기능을 작동하게 될 가능성도 배제할 수 없다. 출력값 저하로 액셀러레이터 페달을 끝까지 밟아도 원하는 출력을 얻을 수 없는 경우가 발생하게 되면 정상 운행에는 출력 부족을 느끼는 정도로 간과한다 해도 전술 상황이나 작전 상황에서 돌진이나 또는 도주중인 경우 생명과 직결된 위급 상황을 일으킬 수 있는 중요 요소가 아닐 수 없다. 만일 센서 출력값의 이상이 ECU의 센서 고장으로 인식되어 림프 홈 기능으로 돌입하게 되면 이 또한 정상시가 아닌 전술 중이나 작전 중에는 치명적인 위험 요소로 작용할 수 있을 것이다. 이는 레퍼런스 센서가 있는 백업타입 APS라해도 동일한 상황이라 할 수 있다. 출력 부족을 지나 림프 홈 모드까지 가게 되면 두 경우 모두 위급상황에서 제 역할을 발휘할 수 없게 되고 이는 전술차량에게 치명적인 결함이 될 수 있다. 해당 부품의 제조에는 Lead-free 정책에 따라 제조 과정에서 납이 사용되지 않고 Sn-Cu 조성의 Soldering Material 이 사용되고 있는데 이와 같은 조성 물질의 사용 시 자연스럽게 ‘Tin Whisker’라는 현상이 발생하게 된다.

Tin Whisker는 터미널 단자의 주석 도금 층으로부터 자발적으로 생성되어 성장하는 수염 형상의 단결정으로서, 바늘형, 단괴형, 피라미드 형이 있고 잠복기는 도금 후 며칠 또는 수 년 사이에 0.03mm~9.0mm/년로 자라는데 보통 1mm (max 10mm) 까지 증식한다.

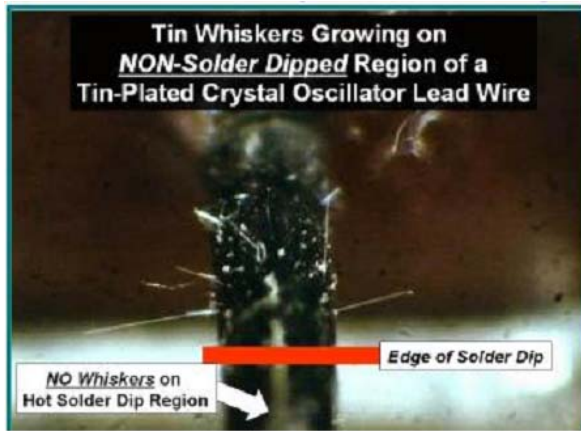


Fig. 14. Tin Whiskers Growing On (via. NASA) [6]

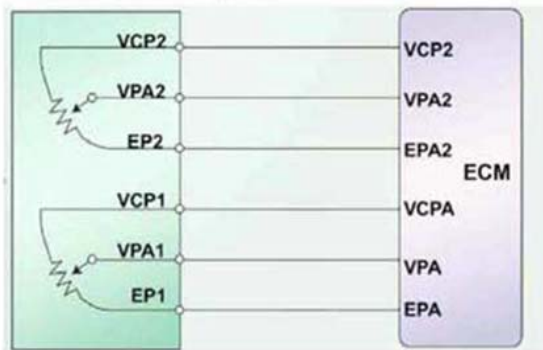


Fig. 15. Circuit Diagram of Potentiometer [6]

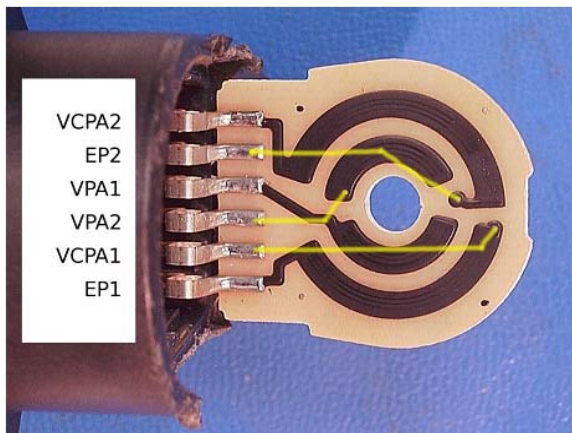


Fig. 16. Potentiometer of APS (via. NASA) [6]

이와 같은 Tin Whisker는 터미널 간의 단락 원인이 되며 그 영향은 센서 신호 출력값의 왜곡을 야기하여 전자제어 시스템의 예기치 못한 오류를 발생시키게 된다.

The Two Longest Tin Whiskers Observed in Faulty 2003 Toyota Camry APP Sensor

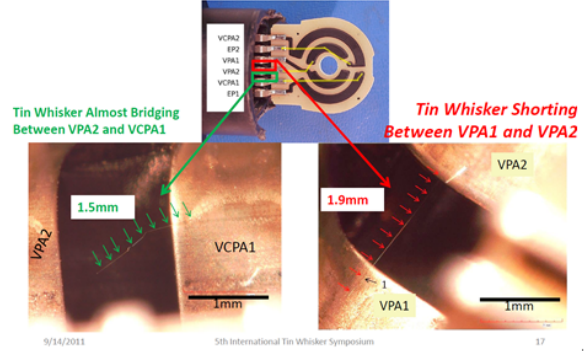


Fig. 17. Tin Whiskers Faulty (via. NASA) [6]

Human Hair vs. Metal Whisker

Metal Whiskers are commonly 1/10 to <1/100 the thickness of a human hair

Optical comparison of Human Hair vs. Tin Whisker SEM comparison of Human Hair vs. Metal Whisker

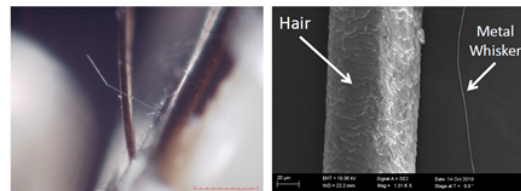


Fig. 18. Tin Whiskers Size (via. NASA) [6]

만일 참조 센서가 없는 APS의 경우 APS 포텐쇼미터 터미널 간에 이와 같은 whisker가 발생하게 되면 IP67 방진 방수 오류와는 차원이 다른 알 수 없는 전자적 오류를 발생하게 되며, 모든 센서와 터미널이 에폭시와 실리콘으로 밀봉되어 있는 해당 제품과 같은 센서로부터 이 원인을 밝히는 것은 근본적으로 불가능하게 되는 상황에서 이 센서의 오류를 보완하거나 대체할 센서값의 참조값 찾을 방법은 없다.

4. 결론

전술차량은 전시 상황에서 반드시 제 역할을 수행해야 하는 차량이므로 항상 최적의 상태로 관리되어야 하고 예방정비를 수행하여 언제 어느 상황에서도 제 능력을 100% 발휘할 수 있도록 유지보수를 하고 있다.

전술차량에게 전자제어 장치는 일견 위험한 선택일

수 있다. 작은 센서 하나 때문에 차량 자체의 운용이 불가할 수도 있고 때로는 운전자와 동승자의 안전과 생명을 위협할 수 있기 때문이다. 특히 전술작전 등 특수한 상황의 경우 전술 차량은 인명을 보호하고 구조하는 중요 임무를 수행하여야 하는 도구이기 때문이다.

위 실험에서 볼 수 있듯이 전자제어 엔진 시스템에 있어서 부품과 센서에 대한 100%의 신뢰는 불가하고 그 신뢰도는 또한 기계식에 미치지 못하며 기계식에 비해 점검과 원인규명, 수리가 복잡하여 그 관리에 상당한 노력이 요구된다. 그럼에도 불구하고 단순 명료한 기계식 시스템을 배제하고 전자제어 엔진 컨트롤을 선택한 것은 산업 전반의 흐름에 따른 불가피한 선택이었을지 모른다. 하지만 전술차량과 같은 특수한 장비를 운용해야 하는 이와 같은 상황에서 오류발생 가능성을 방치한 상태로 장비를 운용할 수는 없으므로 다음과 같은 보완 방법을 통해 장비 운용의 신뢰도를 향상시키는 것을 고려해 보아야 한다고 생각한다.

1) 백업시스템

만일 분사펌프 또는 분사량에 대한 전자제어 컨트롤이 APS 때문에 불가능한 상황이 발생할 경우 유사시 수동 조작 시스템이 필요하다. 예를 들면, 타 사양 전술 차량의 경우 인스트루먼트 패널 우측에 손으로 개도량을 조절하는 레버가 액셀러레이터 페달과 와이어 케이블로 연결 설치되어 있다. 이 레버를 이용해 가속과 감속이 가능하고 일정 엔진 회전수를 고정 유지시킬 수 있다. 이 장치에 참조 센서를 운용해서 APS의 고장 등과 같은 경우가 발행했을 때 수동으로 센서 출력값의 우선권을 넘기면 보완 운용이 가능하게 된다.

2) 기본 RPM 유지회로 구성

크루즈 컨트롤과 같은 정속 주행 장치의 원리를 응용, APS 출력 센서 값 이상 발생에 의한 엔진 회전수 오작동 시 운전자의 의지로 스위치를 껐으로써 APS를 무력화시키고 우회 회로를 형성하여 특정 RPM을 유지, 트랜스미션 동력 저하를 방지하는 백업시스템의 구성이다. Emergency Drive 회로를 통해 특정한 속도를 구현할 수 있는 엔진 회전수를 유지, 전술 중 성능 저하를 예방하여 즉시 탈출 가능한 환경을 조성해 주는 시스템이다.

이 시스템을 적용할 경우 주요 변속 구간인

1500~2000RPM으로 엔진 회전수를 유지해 주고 단 순히 브레이크만으로 차량 속도 및 변속 시점을 조절할 수 있는 조건을 만들 수 있다. 물론 1)과 같은 시스템과 연동시켜 혼용하면 그 신뢰성을 더욱 향상시킬 수 있을 것이라 생각된다. 전자제어 엔진 컨트롤 시스템에서는 수 많은 센서의 출력값을 입력받고 해석하여 검증하는 데 있어서 주로 레퍼런스 신호를 백업으로 이용한다. 현재로서의 상용차 시스템에 이러한 구조는 매우 유용하여 고장 발생 시 림프 흡이 가능토록 해준다. 즉시 대처해야 하고 그 신뢰성이 보장되어야 하며 안전 및 폭발물과 무기류의 보호 등을 수행할 수 있다. 따라서 어떤 형태로든 전자제어 시스템의 오류 발생 시 이를 대체할 다른 방법이 준비되어 있어야 한다.

APS를 한 가지 예로 삼아 전술차량에 있어서 전자제어 시스템의 불완전성을 검증하고 보완책 강구의 필요성을 논하고자 이와 같은 영향 실험을 수행하였고 위와 같은 결론을 도출하게 되었지만 단순하고 불완전한 실험 조건 하에서의 출력값을 완전히 신뢰하기 어려우므로 좀 더 정확하고 정밀한 시뮬레이션을 통해 전술차량 특유의 보완 시스템 필요성을 인식하고 그 시스템을 개발하는 과정이 좀 더 필요하다고 생각된다. 또한 이렇게 보완된 시스템은 보다 많은 사람들이 차량에 대한 안전과 신뢰를 획득함으로써 전자제어 시스템의 부족한 취약점을 보완하여 보다 더욱 안전하게 차량을 운행할 수 있도록 점진적으로 개선해 나가야만 할 것이다.

References

1. US ARMY TM 9-2320-365-24P 'Unit, Direct Support, and General Support Maintenance Repair Parts and Special Tools List for M1078, 2-1/2-TON, 4X4, Light Medium Tactical Vehicles (LMTV)' Headquarters, Departments Of The ARMY and The Air Force, August 2005
2. Electrical Failure of an Accelerator Pedal Position Sensor Caused by a Tin Whisker and Discussion of Investigative Techniques Used for Whisker Detection, 5th International Tin Whisker Symposium, Henning Leidecker, Lyudmyla Panashchenko, NASA Goddard Jay Brusse, Dell Federal Government Services September 14, 2011
3. Analysis of Electronic Control Unit and Accelerator

- ator Pedal Mechanism Components Damaged During EMC Testing, U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration, February 2011
4. Analysis of Toyota ETCS-i System Hardware and Software, Exponent 149 Commonwealth Drive Menlo Park, CA 94025, September 2012
 5. Throttle Controls for Diesel Engines, Catalog, Williams Controls, Document Number 119742 Rev. G 11/03 © 2003 by Williams Controls
 6. http://neppnasa.gov/whisker/reference/tech_papers/2011-NASA-GSFC-whisker-failure-app-sensor.pdf