

차량 연료시스템에서의 정전기 축적특성 연구

서준호[†]·나병철*·김진용*

A Study on Electrostatic Charging Characteristics in Vehicle Fuel Systems

Joon-Ho Seo, Byung Chul Na and Jin-Young Kim

Key Words: Surface(차량표면), Air filter(공기여과기), Fuel filter(연료여과기), Electrostatic discharge(정전기 방전), Electrostatic charge(정전기 축적)

Abstract

As the friction between two mated materials generates electrostatic voltage, vehicles especially in the cold climate has been accumulated an electrostatic voltage by the reason of fuel flow in the fuel line, air flows out side of vehicle, etc. In this study, investigations of electrostatic discharge characteristics has been carried out in the fuel systems of gasoline engines depending on the environment temperature. For the experiment, conventional fuel filters(paint coated steel case) and specially made testing equipment are prepared. The experimental results shows, an accumulation speed of electrostatic voltage depends on the environmental temperature and new methods of testing procedures are required compare to SAE standards.

1. 서 론

고압 직접분사 엔진(GDI, HSDI)이 보편화되는 세계추세에 따라 고압, 고속 연료공급이 필연적이고 특히 연료필터에서는 그 성능향상을 위한 공극 조밀화로 연료와의 접촉면적 확대 및 접촉 상대속도가 매우 증가하여 이로 인한 연료시스템 내의 정전기 축적 및 방전의 우려가 더욱 높아지고 있다. 게다가 최근에는 모듈화 경향에 따라 연료필터가 연료탱크 내에 일체로 내장되는 추세에 있는데 연료가 일부 소모된 연료탱크 속에는 기화된 연료가 가득 차있기 때문에 연료필터에서의 정전기 방전은 매우 위험한 상황을 초래하게

된다. 따라서 선진국의 경우 정전기 생성이 용이한 환경에서 일정시간 축적되는 차량 연료시스템 내 정전기, 특히 연료시스템의 모서리 부위에서의 정전위 레벨을 측정하여 안정수준 이내일 것으로 규제를 가하고 있다.

또한 국내차량에 적용되어지는 선진 시험규격(SAE 및 EPA 권장규격)에는 단순히 특정 시험온도조건(-30℃)에서 일정시간(약 48시간) 방치한 후 특정 수준(30KV)이상 정전기가 축적되지 않았을 경우를 시험합격 규격으로 제정하고 있으나 본 연구를 통하여 측정한 연속 정전위 레벨 측정결과 주위 환경에 따라 일정 시험기간 내에서 방전과 재축적이 일어나는 것을 관측할 수 있어 상기 시험규격만으로 정전기 안정성을 평가하기에는 오류가 내포될 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 차량 부품업체에 선진사 시험규격 부응하는 부품을 제공하여 줄 것을 요구하는 국내 완성차업체에서는 차량 연료시스템 내에 정전기방전 위험방지를 위해서 보다 세분화된 시험규격을 적용시켜야 함을 알 수 있었다. 본 논문에서는 연료시스템 내에 정전기방전이 빈번히 발생하는 위험조

† 자동차부품연구원

E-mail : jhseo@katech.re.kr

TEL : (041)559-3278 FAX : (041)559-3069

* 자동차부품연구원

건, 소량일지라도 정전위 축적이 지속되는 정전기 방전 잠재 조건 및 자체 방전량이 정전기 축적량을 증가하여 더 이상 정전기 축적이 이루어지지 않는 정전기 안전조건 등을 평가할 수 있도록 보다 세분화 하여 글로벌 아웃소싱에 대처하기 위한 국내 자동차 부품업체에 방법론적 시험 방안을 제시하고자 한다.

2. 연료시스템 정전기 발생량 측정

2.1 실험 방법 및 실험 장치 구성

Fig 1에는 실제 차량에서의 연료 유동상황과 같은 조건을 발생시키는 연료 시스템이 구축된 형상을 도시한 것이다. 실제 연료시스템 구동 시에는 공기중 수분의 영향을 배제하기 위하여 -15°C , -30°C , -45°C 의 저온 챔버(chamber) 내에서 연료시스템을 구동시키며 저온 챔버와 연료시스템과의 절연상황을 확인 한 후 연료시스템을 구동하였다. 실제 차량에서는 연료가 유동하며 정전기를 발생시키지만 실험 시에는 발화의 위험성을 고려하여, SAE에 규정에 따라 전하를 쉽게 분리시키는 성질을 지닌 유압유중 저온 유동성이 보장되는 항공 유압작동유(Aero Hydraulic Fluid) 중 차량 연료와 점도특성(상온에서 약 0.2 cts)이 유사한 제품을 사용하여 연료시스템을 구동하였다.

본 실험에서는 전도성 차량 연료호스를 통한 전자방출을 방지하고 부품(연료필터 유니트)자체에서 발생하는 순수 발생 전하량을 측정하기 위하여 본 실험에서는 Fig 2에서 도시한 바와 같이 필터 유니트에 직접 연결된 부분은 전후단 각각 10cm정도 절연 호스로 연결하고 나머지 부분은 전부 전도성 연료호스로 변경하여 필터 유니트에서 발생하는 정전기만을 측정하고 그 외 유동 등에 의한 영향은 배제하도록 도모하였다.

또한 동절기뿐만 아니라 봄철 건조기후에서도 차량 내 정전기 방전이 빈번하게 발생하므로 이를 위하여 상온에서도 정전기 발생이 용이하도록 조건을 구비하여 저온조건에서의 정전기 축적상황과 비교할 수 있도록 도모하였다. 상온 시험은 챔버 안의 습기를 완전히 제거 할 수 있는 건조장치를 별도 설치하여 상온에서도 상대습도를 0% 가까이 유지 할 수 있도록 환경을 조성하였

다. 온도변화에 따른 작동유체 점도변화에 기인한 유량변화를 보상하기 위하여 정밀 유량계를 설치하고 각 온도에서 유속 변화에 따른 정전편차를 최소화할 수 있도록 하였다.

또한 공중 방전 시에 정전기 축적량 변화를 관찰하기 위하여 실시간 정전기 축적량 측정과 함께 방전에 의한 불꽃과 방전음 발생을 관찰하였으며 이를 위하여 챔버내에 관찰용 카메라와 조명을 설치하였다. 또한 냉동기 압축펌프 작동시 챔버내에 발생할 수 있는 진동의 영향을 배제하기 위하여 센서 고정 측에 방진용 패드를 설치하여 진동에 의한 영향을 배제하였다.

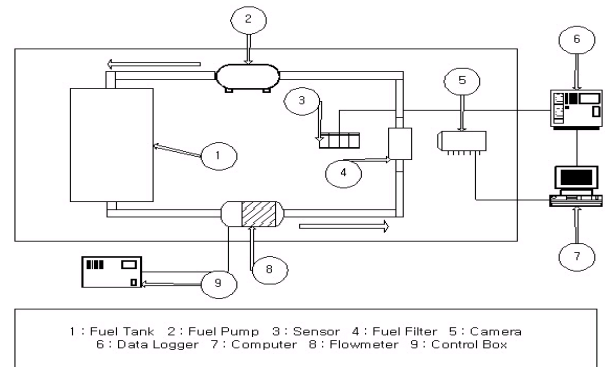


Fig 1 Fuel system electrostatic test bench



Fig 2. Fuel filter specimen

2.2 연료필터의 정전기 발생량 측정

실험에서는 연료필터에서 발생하는 정전기량을 측정하기 위하여 상대습도를 0%로 유지하면서 온도를 -37°C , -30°C , -15°C , 0°C , 상온(20°C)으로 변화시켜가며 연료필터에 발생하는 정전기를 측정 하였다. Fig 3은 -37°C 에서의 정전기 발생량을 시간에 따른 변화를 측정한 것이다. Fig 3에서 보는 것과 같이 -37°C 에서는 약 10KV의 정전기가 발생하며 순간적으로 방전이 일어났다가 다시 충

전이 되고 시간이 지나면서도 같은 크기의 정전기가 측정 되어 있는 것을 볼 수가 있다. Fig 4에서 Fig 6은 순간 방전은 자주 일어나지 않았으나 발생된 전하량과 유출 또는 자연 손실되는 전하량의 균형으로 정전위 수치는 약 8~10KV를 나타내고 있다. 또한 Fig 7은 각 시험온도변화에 따른 정전위 레벨을 비교 도시한 것이다. 온도가 낮을수록 정전기 축적량이 증가하는 것을 알 수 있으며 -37℃와 -30℃에서의 정전위 레벨은 거의 유사한 수치를 나타내어 더 낮은 온도에서 시험이 진행되더라도 큰 차이는 없을 것으로 사료된다. 그 이유로는 정전기 발생 특성상 습도와 관련이 있는 것으로 생각되며 공기중 수분이 완전히 동결되는 -37℃와 -30℃에서는 습도에 의한 영향이 적어 유사한 정전위 수준을 나타내게 된 것으로 생각된다.

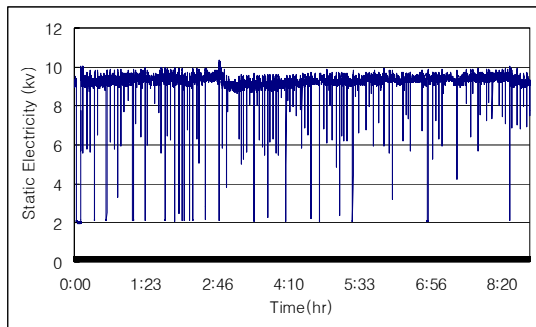


Fig 3. Electrostatic level at -37℃

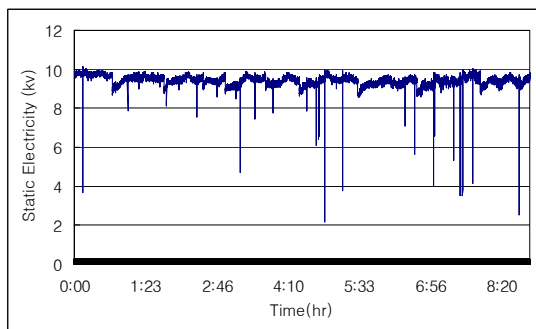


Fig 4. Electrostatic level at -30℃

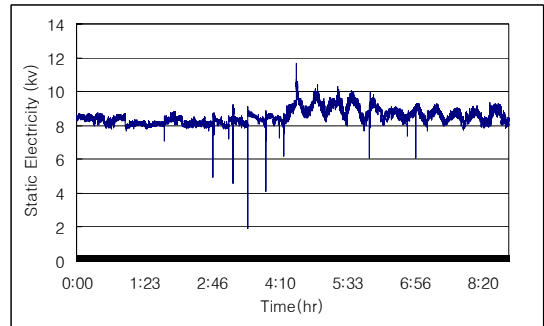


Fig 5. Electrostatic level at -15℃

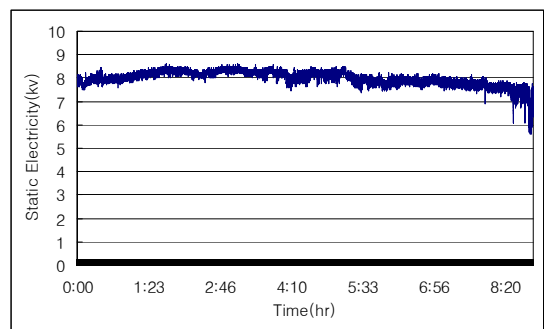


Fig 6. Electrostatic level at 20℃ (dry condition)

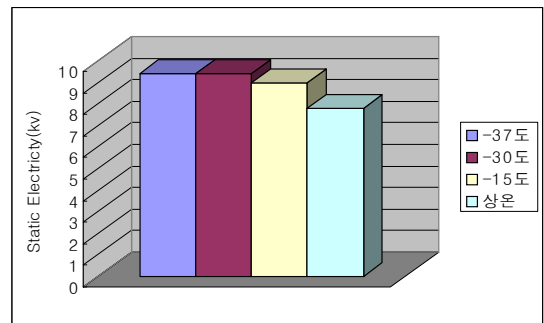


Fig 7 Electrostatic level change according to temperature variation

2.3 연료시스템 내 축적된 정전위에 의한 정전기 방전 현상 검증

Fig 8에서 Fig 10까지는 습도 0%인 상온에서 연료필터의 연료 주입구, 몸체부분에 그라운드에 접지되어 있는 접지부를 이용하여 불꽃이 어떻게 발생하는지를 알아보았다.

Fig 8과 9를 살펴보면 온도가 낮은 곳에서 더 강한 불꽃을 보임으로써 앞에서 실험하였던 결과와 같이 낮은 온도에서 정전기 방전의 가능성이 크다는 것을 알 수 있다.

그라운드에 접지를 시행할 경우 접지 주변부에

서는 정전위 수준이 0KV가 되어 안전성이 확보되지만 이 경우에도 접지부를 제외한 주변 모서리부분에는 상당량의 정전기가 존재하여 접지선을 근접시킬 경우 미약하나마 약한 불꽃이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.(Fig 11 참조) 이는 필터가 그라운드에 접지되어 완전방전이 된 상태에서도 주변 다른 곳에 정전기 축적이 이루어질 수 있음을 나타내는 것으로 접지를 시행하더라도 주변조건이 형성될 경우 방전으로 인한 사고가 일어날 가능성이 있음을 나타내고 있다.

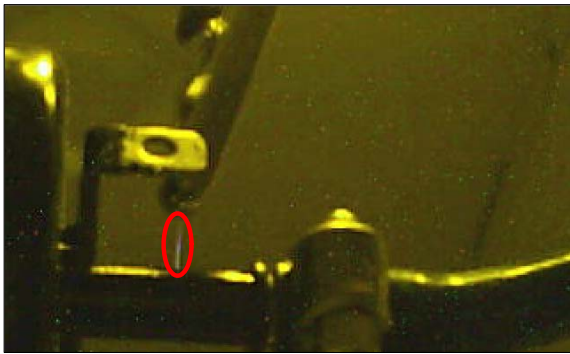


Fig 8. Electrostatic discharge at 20°C



Fig 9. Electrostatic discharge at -30°C

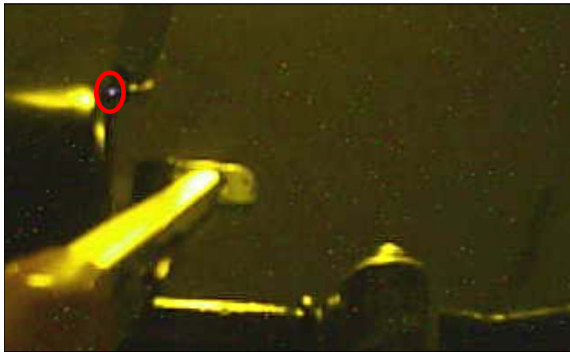


Fig 10. Electrostatic discharge at 20°C (rounded condition)

3. 실차주행시의 차량축적 정전위 레벨

3.1 실험 방법 및 실험 장치 구성

실차의 연료필터, 차량표면, 공기필터부분에 정전위 센서를 설치하고 차량주행을 통하여 각 부분에서 축적되는 정전기량을 측정하였다.

실험 조건은 외기 온도는 -1°C 이하 습도는18% 이하이었을 때 차량 시험을 수행 하였으며 Fig 11에서 Fig 13에 센서를 장착하고 시험을 수행한 사진을 도시하였다.



Fig 11. Electrostatic measuring at fuel filter

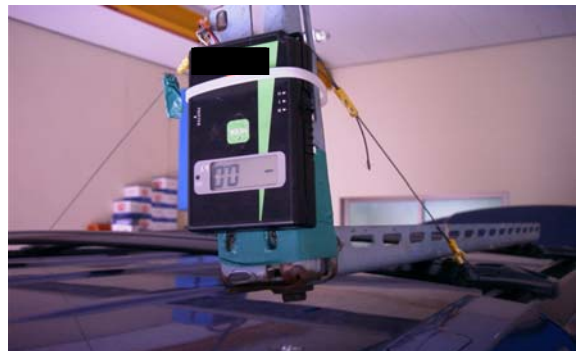


Fig 12. Electrostatic measuring at vehicle surface



Fig 13. Electrostatic measuring at air filter

3.2 측정 결과

Fig 14는 실차주행시 차량 주변의 풍속을 측정

한 결과이고 Fig 15에서 17은 주행시 각 부분에서 측정된 정전위 수준을 실시간 측정한 값이다. Fig 15에서 보는 바와 같이 필수적으로 접지를 시행하는 연료필터 부분에서도 약 1kv의 정전위 수준을 나타내어 자체 방출되는 전하량 보다 축적되는 전하량이 우세함을 알 수 있었다. Fig 16의 차량표면에서는 주행 시간이 지나감에 따라서 차량 표면과 주변의 공기마찰로 인한 정전기 누적량이 증가하여 정전위 수준이 약 1.5kv에서 3.5kv까지 꾸준히 증가하였다. 이는 타이어를 통한 지면과의 접지효과로 배출되는 전하량보다 여러 원인에 의하여 차체에 축적되는 전하량이 우세함을 의미하며 이러한 상황에서 연료계 부품에 대하여 차체접지를 시행하는 것은 만족할 만한 접지효과를 기대하기 어려울 것이라는 것을 알 수 있다. 접지를 시행하지 않고 부직포 소재를 사용하는 공기필터 부분은 초기 약 4kv에서 13kv까지 높은 정전위 수준을 나타내었으며 일부 부품에서 발생하는 이러한 높은 정전위 수준은 차체의 정전위 수준을 높이는 요인이 될 수 있으며 차체를 접지로 간주하여 전하를 방출시키는 차량 부품(특히 연료계 부품)의 그라운드 레벨(ground level)을 상승시켜 위험한 방전상황을 초래할 수도 있다.

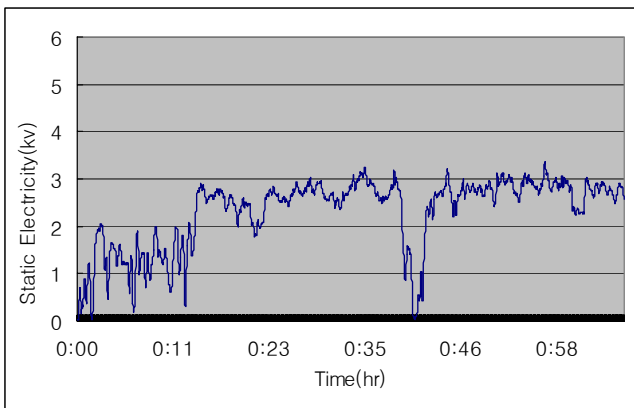


Fig 14 Wind velocity profile around test vehicle

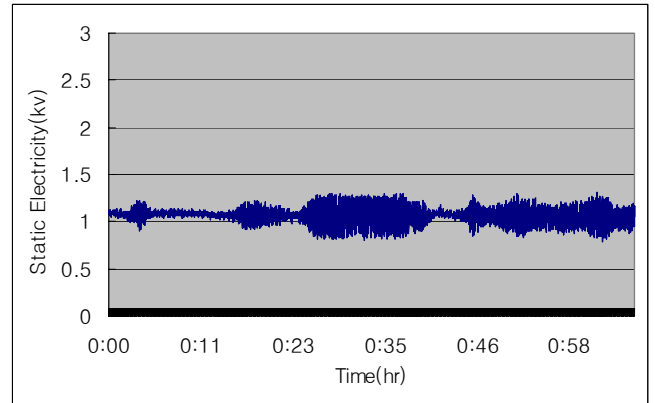


Fig 15 Electrostatic level of fuel filte

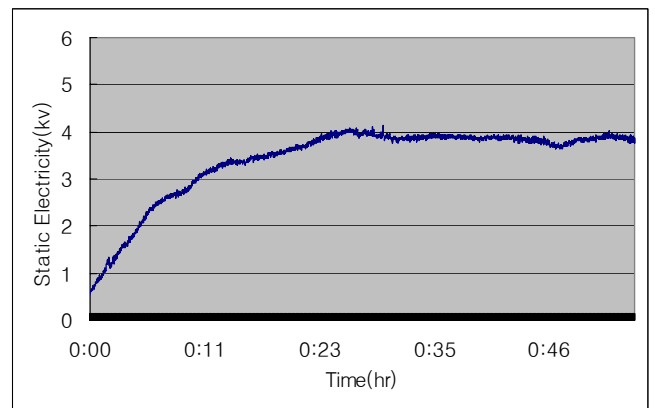


Fig 16 Electrostatic level of vehicle surface

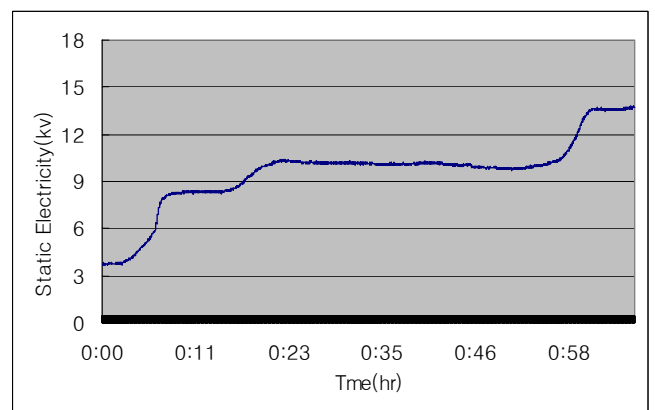


Fig 17 Electrostatic level of air filter

4. 결 론

본 논문은 차량 연료계부품(연료필터)에 축적된 정전기가 방전됨으로써 발생할 수 있는 잠재된 사고의 가능성을 방지하기 위하여 정전기 축적특성에 대하여 평가하고 방법론적 시험방안을 제시하였으며 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 기온이 낮고 습도가 낮은 곳에서 장시간 운행시 차량의 각 부분에서 정전기가 축적되며 연료필터를 접지시킨 상태에서도 방전의 조건이 주어지면 방전에 의한 불꽃의 발생으로 인해 사고의 가능성이 있음을 검증하였다.

2) SAE1645 규정에 의한 -30°C 에서의 허용 정전위 레벨이 30kv이며 실제 시험결과는 이보다 훨씬 낮은 10kv 정도의 정전위 수준에서도 방전이 일어날 수 있음을 확인하였다.

3) 차량 연료계 부품들은 정전기 방전을 방지하기 위하여 차체에 접지를 시행하고 있으나 시험결과 차량에서는 주변 환경(온도, 습도, 풍속 등)에 따라 정전기 축적성향이 높은 타 부품들로 인하여 차체의 정전위 수준이 높아질 수 있으며 이로 인하여 차체에 접지를 시행하는 연료계 부품의 접지 효과가 원활하지 않아 정전기가 축적될 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 표준화기술개발 연구지원사업의 일환으로 수행되었으며 협조해주신 관계자여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Takayuki Kato; Shoichi Yamamoto; Genjiro Tada; Takashi Nagai; Hironori Ueda, 1999, "Electrostatics of fuel system for the automobile"
- (2) Pusheng Chen, 1999, "Static electricity in automotive interiors"
- (3) Kazuhiro Minamitani; Tateki Takayama; Takayuki Kato; Syouichi Yamamoto; Genjiro Tada; Takashi Nagai; Hironori Ueda, 1998, "Electrostatics of fuel filter for fuel pump module"
- (4) American Society for, "Standard guide for generation and dissipation of static electricity in petroleum fuel systems"
- (5) Society of Automotiv, "Fuel System Electrostatic Charge"
- (6) Society of Automotiv, "Electrostatic Discharge Test for Vehicles"
- (7) Stuart S. Sullivan; David C. Reek; Bruce A.

Myers, 1984, "Electrostatic discharge--handling considerations for electronic assemblies in automotive applications"

- (8) Robert L. Truax, "Dielectric electrostatic charge reduction"