

전기 노이즈가 노후 차량에 미치는 영향

최년식[†]

The Influence of Electric Noise for Decrepit Vehicle

Nyeonsik Choi[†]

Abstract

The development of electronic technology has been rapidly achieved in the automotive industry. A trend that attaches electric equipment, including ECUs at vehicles, is observed. However, decrepit vehicles have several electrical noises and errors. The effect of electric noise on vehicles that are focused on smoke was investigated. Many researchers have argued that one of the reasons of the occurrence of smoke in vehicles is the inexact time of the occurrence of ignition. Moreover, various physical, chemical, and thermodynamic solutions were attempted to approach and many improvements were accomplished. However, in this study, the reduction of electrical and electronic noise is confirmed to improve the accuracy of the injection time on decrepit vehicles with electrical and electric technologies. Previous studies suggest that the distance between the pilot and main ignitions affect the occurrence of smoke and control the variance value of the distance between pilot and main ignitions with electric filter. Thus, the effect of reducing smoke occurred.

Key words: Electric noise, Electric filter, Decrepit vehicle, Injection time, Emission

1. 서 론

자동차 분야에서도 전기, 전자 기술의 발달은 급격히 이루어졌다. 자동화/전자화 되어가는 자동차는 다양한 기기를 제어할 수 있는 장치가 필요하게 되었으며, 자동차에는 ECU를 비롯한 다양한 전기/전자 장비들이 점점 증가되고 있는 추세이다. 특히 최근의 자동차들은 control system, sensors, actuators를 포함하여 각종 정보시스템, 안전장치, 그리고 엔터테인먼트 장치 등^[1]의 장착이 보편화되었다. 하지만, 이러한 각종 전기, 전자 장비들은 노후화 되면서 점점 전기적 노이즈를 증가시키고 있는 것으로 나타났다. 전기적 노이즈는 서로간의 전기적 간섭에 따른 영향으로 오동작 가능성을 내포한다. 특히 디젤엔진의 경우 자연착화(auto ignition)방식으로 전자화가 더 빨리 이루어졌다. 디젤 차량의 경우 연료분사 장치를 사용함으로써 전자제어 장치가 필수

적이며^[2], 이는 전기적 오작동에 대해 취약 할 수 있는 요소가 다분하다고 하겠다.

노후화된 자동차에서 전자 노이즈를 감소시킴으로써 어떠한 변화가 일어나는지, 특히 노후 차량에 전자필터를 장착함으로써, ECU에 의해 제어되는 분사시점이 어떻게 변화하는지에 따라 나타나는 현상에 대한 연구는 기존의 자동차 노후화에 따른 변화에 있어 새로운 연구 접근 방법이라 하겠다.

2. 연구의 목적

자동차가 노후화됨에 따라 가장 취약한 형태로 나타나는 전기/전자적 노이즈가 자동차에 끼치는 영향에 대한 연구는 또 다른 측면의 연구로 볼 수 있다. 노후화된 자동차는 소음, 부조화, 매연 등의 다양한 형태로 문제가 나타난다. 특히 자동차 중에서 노후 디젤 자동차의 매연에 관한 연구는 다양하게 이루어져왔다. 많은 연구자들은 디젤 엔진의 특성인 auto ignition을 연구하면서 그 해법을 찾고자 하였다^[3]. 그리하여 auto ignition이 정확한 시점에 이루어지지 않음을 매연 발생의 주요 원인으로 생각했다. 정확한 시점에 ignition이 이루어지도록 다양한 물리적, 화학적, 그리고 열역학적 해법으로까지 접근을 시도하였고^[4], 많은 개선 효과를 보았지만, 급격

Paper number: TKPE-2017-22-5-2

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: choins@silla.ac.kr, Division of Mechanical Convergence Eng., Silla University
Tel: +82-51-999-5826 Fax: +82-51-999-5800

Manuscript received July 14, 2017; revised Aug. 8, 2017; accepted Aug. 16, 2017

히 전기/전자화 되어가는 자동차에 있어서, 전기/전자적 노이즈가 노후 자동차에 끼치는 영향에 대한 연구는 많지 않다.

본 논문에서는 노후화 된 차량의 경우 다양한 전기, 전자적 오류에 의한 영향을 받을 것으로 가정해서 전기, 전자적 영향을 전기필터를 사용해서 줄임으로써 분사시점이 어떻게 변화 되는지를 확인하고자 하였고, 전기/전자적 노이즈의 가감에 따라 연료분사장치의 전자적 제어의 변화 형태와 매연에 대한 상관관계를 조사하기 위하여 선행 연구를 실시하였다. 분사시점의 변화에 따른 매연의 변화를 관찰함으로써 전기/전자적 노이즈에 의한 오류가 노후 자동차의 매연 발생에 영향을 미친다는 것을 입증하고자 하였다.

3. 선행연구

3.1 전기/전자 노이즈를 줄이기 위한 필터

전기/전자와 관련된 많은 문제들은 비정상적 노이즈나 변이된 과장으로 인해 발생할 수 있다^[5]. 전기/전자 노이즈 제거는 대부분의 전자 시스템에서 중요하게 다루어진다. 노이즈의 구성 요소는 온도 변화, 상호간섭, 요구 정밀도 등 다양한 항목이 있으며, 시스템 설계에 반영되어야 할 요소이다^[6]. 특히 자동차의 경우는 노이즈의 구성요소인 온도변화와 제한된 공간, 상호간섭 및 다양한 노이즈 발생원들이 존재함으로 발생의 가능성이 아주 크다. 디젤 자동차의 전기, 전자 노이즈 특성에 관한 연구는 다양하게 이루어졌다. 일반적으로 전기적 노이즈는 차량의 운행 전압에 의해 발생하는 주파수와 ignition시 발생하는 불특정 노이즈로 구분이 가능하다. 디젤 엔진에서 나타나는 전기/전자적 노이즈에 대한 연구 중 차량의 운행 전압에 의해 발생하는 전기적 노이즈로 엔진냉각팬과 송풍모터로부터 발생하는 광대역노이즈가 60.5MHz에서 32.8dB μ V/m로 검출되는 등, 광대역, 협대역 및 대형트릭과 SUV등에서 다양하게 검출된다^[7]. 뿐만 아니라 자동차의 경우 가솔린 엔진 자동차보다도 디젤엔진 자동차에서 광대역 노이즈가 많이 검출되었으며, ECU 및 oscillator등에서 발생하는 협대역 노이즈 보다 송풍모터, 엔진 쿨링팬, 제너레이터 등에서 더 많은 광대역 노이즈가 발생하고 있다^[8].

컴퓨터와 같이 전자기적인 노이즈에 민감한 장비에 대해서는 EMI 차단을 위한 장비용 필터보다 전류용량이 크게 설계 되어야 한다^[9]. 또한 특정응용분야의 경우 MIL-STD 220시험기준으로 14kHz~10GHz의 광대역에서 최소 100dB이상의 손실이 나타난다^[10]. 이를 보완하기 위해서는 커패시터, 인덕터 등의 HLC(high order LC) 필터에 대한 설계기술이 필요하다^[11]. 선행 연구를 통해 자동차에 적용할 수 있는 필터 기술의 범위를 확인하고, passive 필터 회로를 설계하여 본 연구에 적용함으로써 전기/전자적 노이즈를 제어하는 역할을 수행하

도록 하였다.

3.2 자동차의 매연 관련 선행연구

디젤 자동차의 매연은 왜 일어나는 것일까? 우리는 아주 단순한 문제부터 이야기 할 필요가 있다. 기본적으로 엔진의 행정에서 압축이 일어난 이후, 폭발 과정에서 완전연소가 일어나지 않는 것이 가장 주요한 원인일 것이다. 즉, 완전 연소를 방해하는 요소들을 제거함으로써 완전연소를 유도해 내고자 하는 연구들이 다양하게 이루어져 왔다. 디젤 엔진의 특징은 별도의 점화장치가 존재하지 않으며, 압축열에 의해 압축된 혼합 연료가 자연착화(auto ignition)가 일어나서 폭발함으로 인해 그 동력원을 얻어 낸다. 매연 발생의 물리적 원인으로는 압축이 제대로 이루어지지 않는 경우와 압축을 위한 밀폐가 되지 않는 경우 등 다양한 형태가 있을 수 있다. 하지만 이러한 경우는 비교적 쉽게 교정이 가능하다.

문제가 되는 것은 바로 ignition의 상황이다. 압축열에 의해 자연 발화되는 특징으로 짧은 순간이지만 어느 때 폭발을 일으킬지는 알 수가 없다. 공기와 연료가 혼합된 혼합가스 자체에 압력을 가하는 과거 기술의 경우 더더욱 ignition의 시기를 판단하기는 어렵다. 그러다 보니 자연스럽게 압축 비율을 낮춰서 ignition의 시기를 맞추는 방법을 쓰기도 했지만, 강한 압축에 의한 폭발을 유도하기 위해서는 높은 압력이 필요하였다. 이에 압축공기에 연료를 분사해서 ignition을 유도하는 방법인 연료 분사 시스템이 개발되어 적용 되었다.

연료 분사 시스템이 적용됨으로 인해 공기를 압축한 후 연료를 분사함으로써 어느 정도의 ignition time을 맞출 수 있는 효과가 있었다. 하지만, 이미 온도가 올라가 있는 압축공기에 짧은 순간이지만 injection을 가하게 되는 순간마저도 injection의 시간, 노즐의 분사 방법, 그리고 다양한 환경 변수에 의해서 정확한 ignition time을 잡기는 어려움이 있었다. 점화 지연(ignition delay)과 연소 에너지(combustion energy)와의 상관관계 연구^[12]에서는 불꽃 점화에 의한 문제 해결 방안을 이야기했고, 직접 분사 엔진의 정상 상태와 ignition delay에 대한 연구를 통해, ignition time의 중요성이 강조되었으며, 엔진 속도 및 부하, 점화시기, EGR, 공연비, 압축비 등 엔진 작동 및 설계 조건에서의 다양한 변수를 고려해서 점화 지연에 대한 예측 값을 예상한 연구에서는 실험 결과와 잘 일치하였다^[13].

또한 메탄, 에탄, 프로판 등의 작은 탄화수소의 산화 반응의 속도론을 포함하는 연산 모델 실험연구를 통해 연료 유형에 초점을 맞춰 점화 지연의 편차를 예측하는 연구도 있었다^[14]. 노즐을 통해 분사되는 연료의 크기에는 독립적이며, 연료의 분자 내에 탄소 원자 수의 증가와 함께 점화지연이 증가한다고 주장하여 균질 혼합 연료를 이용해 실험적, 이론적 결론을 도출한 연구^[15]와 혼합연료와 점화지연의 특성에 관한 연구^[16]도 진행되었다.

점화지연 시간을 감소시키기 위한 방법을 제시하고, 점화지연 시간은 디젤연료의 분사 방법과 의존 관계가 있다고도 하였다^[17].

연료와 공기의 비율, 연료 분사 압력, 물 온도, 엔진 속도, 냉각 상태에 따라 실린더 압력에 영향을 미치며, 압력 상승의 지연이 물리 화학적 요인뿐만 아니라, 다양한 열역학적 파라미터에 의해 영향을 받아 이루어짐으로써 점화지연이 일어난다고도 하였다.

다른 방향의 연구로 연료 및 내부 배기가스에 의한 문제를 다룬 연구도 있다. 연료의 착화 특성에 대한 연구^[18]와 내부 배기가스의 잔류가 CAI (controlled auto ignition) 연소에 모두 열 및 화학적으로 영향을 미칠 것이며, 이는 화학적으로 불활성 가스이기 때문임을 주장한 연구도 있다^[19].

이러한 기존 연구를 바탕으로 최적의 ignition time을 끌어내기 위한 방향의 연구가 바로 포스트 분사에 관한 연구이다. 포스트 분사 전략은 NOx 배출 및 연비 페널티 없이 매연 감소에 효과적인 것으로 입증되었다^[20]. 이를 바탕으로 pilot ignition 과 main ignition으로 나누어 점화하는 방식이 발전되었다. Pilot injection timing effect는 pilot ignition의 지속(duration)보다 pilot ignition 지연(delay)이 명확하고, pilot injection의 타이밍과 간격은 자동점화에 많은 영향을 미친다. 즉 ignition delay를 줄이기 위해 pilot injection을 통해 미리 ignition을 일으키고 난 이후에 다시 main injection이 일어나는 형태이다.

디젤 분사에 있어서의 점화처리 연구에서 짧은 시간에 발생하는 auto ignition현상은 압축공기가 열을 품고 있는 상태에서 injection이 일어남으로 인해 연료가 열을 흡수하는 관계에 대해 연구한 내용도 있다^[21]. 뿐만 아니라 injection이 일어날 연료 알갱이(droplet)의 온도가 높으면 지름이 커지고 이로 인해 ignition은 점점 빨라진다는 연구도 있었다^[22].

단일실린더 및 다중실린더 테스트 엔진에 장착된 분사 속도 모양을 변화시키는 CRS 테스트를 수행한 결과 분사율을 최적화 시키는 기능을 통해 연소를 제어하여 NOx - 연료 소비 및 NOx-PM에 대해 개선 할 수 있음을 보여주었다^[23].

선행 연구를 통해 정확한 ignition이야 말로 매연을 줄일 수 있는 최선의 방법임을 알 수 있다. 많은 연구들이 ignition delay 측면에서 이루어졌고 더 정밀한 ignition을 위해 pilot ignition을 도입하기도 하였다. 또 다른 연구에서는 early ignition, 즉 ignition이 빨라지는 현상에 대해서도 논의한 바 있다. 결론적으로 많은 연구자들은 ignition time의 정확성이 매연을 극복 할 수 있는 방법임을 설명하는 것이다. 즉, 정확한 ignition time에 injection이 이루어질 수 있게 제어하는 것이 미래의 연료 분사 시스템에 필수적인 기능이다.



Fig. 1. The experimental vehicle SantaFe 2001.



Fig. 2. Pico automotive diagnostics kit.

4. 연구 방법

4.1 실험 장비

본 연구에서는 노후화된 차량에 대한 전기, 전자적 영향이 injection time에 미치는 영향과 이에 따른 매연 발생에 대한 실험을 위하여 노후화된 차량으로 현대자동차의 신타페(년식 : 2001년, 배기량: 1991cc, 정격출력 : 115PS/4000RPM, 연료 : 경유, 연비: 13.4km/l, 주행거리 : 247,312km)를 Fig. 1과 같이 준비하였다.

일반적으로 노후화된 차량은 다양한 주행 환경 및 실험 여건 등이 다르므로 인해 표준화나 표본화가 어렵다. 그래서 노후화된 차량에 대한 실험은 다수의 차량을 선정할 경우^[24]도 있으며, 특정 차량을 이용해 실험하고 그 결과를 검증한 사례^[25]도 있다. 본 연구에서는 노후화의 정도를 파악하고자 하는 것이 아니라, 노후화된 차량을 통해 나타나는 현상을 파악하기 위한 실험이므로 특정 차량을 통해 실험을 실시하였다.

Injection timing 측정 장비로는 Pico Technology사의 Pico Automotive Diagnostics Kits를 활용했는데, 본 장비는 ignition(pilot and main), injectors and fuel pumps, starter and charging circuits, electronic throttle control 및 CAN bus 등에 대한 진단 및 data를 검출할 수 있는 장비로 자동차 전용 진단 장비이다.

매연 측정을 위한 장비로는 독일 testo사의 매연 측정기 testo 308 장비를 활용했는데, 매연측정의 경우 필터



Technical data	
Characteristic	Values
Sensor	Photodiode
Measuring range	0 - 6 smoke number
Resolution	0.1 smoke number
Accuracy	±0.2 smoke number
Test sample volume	1.63 ± 0.1 reference litre (990 mbar, 20 °C / 68 °F)
Storage/transport temperature	-20 to 50°C / -4 to 122°F
Operating temperature	5 to 45°C / 41 to 113°F
Rechargeable battery	Lithium ion, 2600mAh / 3.7V
Battery operation time	45 individual measurements
Protection class	IP 40
Interfaces	IR, IRDA, optional: Bluetooth (0632 0309)
Dimensions	270 x 63 x 120 mm / 10.63 x 2.48 x 4.73"
Weight	600g / 1.33lb (including battery)

Fig. 3. Testo 308.

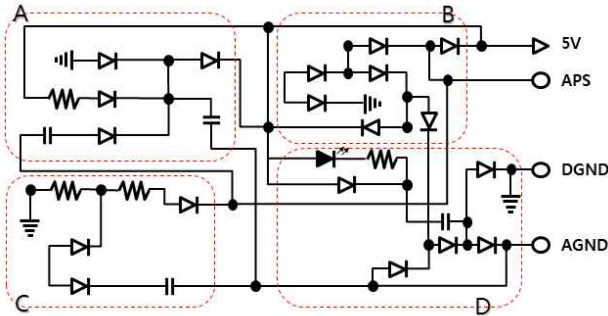


Fig. 4. Electric filter circuit.

테스트라고 하는 오래 전의 수동 방식을 활용하여 매연 입자를 측정하지만, 이번에 활용된 testo 308 장비는 매연 입자를 흡입하여 필터에 매연 입자를 흡착시키고 흡착된 필터에 빛을 투과 시켜 빛의 투과량에 따라 그 수치를 디스플레이에 디지털 방식으로 표시해 주는 TÜV 인증 제품으로 높은 신뢰도를 가지고 있으며, 측정 단위는 Rz 을 사용한다. Rz 은 10점 평균 조도로 KS에서 규정하고 있다.

이미 언급한 바와 같이 노후화된 차량의 전기, 전자적 오류를 어느 정도 개선해 줄 전기 회로로 passive filters^[26]을 기초로 electric filter를 자체 제작하였는데, 이는 3.7V의 일반 전자 회로에 노이즈 발생기로 노이즈를 발생시켰을 때, 노이즈가 10% 이하가 될 수 있도록 만든 electric filter이다.

Fig. 4는 electric filter 회로를 나타낸 것이다. 모듈A는 연전류 방지 모듈로 ECU 및 APS의 신호원과 GND, 전원부와 GND간의 바이패스 필터로 동작하여 전원의 리플전압과 신호원의 잡음성 발전신호가 바이패스 되게 설계되었는데, 특정 다이오드는 입력단자를 보호하고 GND에서 5V단 사이에 연결되고 역바이어스 전압이 가해지면 컨덴서에 의해 신호파형에 영향을 준다. 모듈B는 전원방향과 반대로 결합된 다이오드를 통해 전원부의 역전류를 방지하게 설계되었다. 즉, 입력전압과 APS 신호를 받아들여 각 단계 전달하며 필터링된 신호가 ECU에 전달되게 된다. 모듈C는 전류를 안정화 시키는

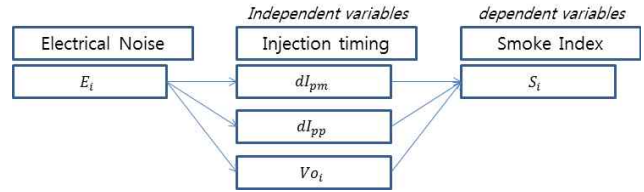


Fig. 5. The research model.

모듈로 신호원의 잡음을 모듈D로 전달한다. 모듈D는 전원부의 필터와 신호부 필터의 GND간 다이오드 직렬 전압강하를 이용해 일정 전압 유지 및 안정화를 구현토록 했다. 설계 세부 조건은 3V~24V에서 작동하고, 특정응용분야의 경우로 MIL-STD220시험기준 14kHz~10GHz의 광대역에서 insert loss가 최소100dB이상 충족된다.

Electric filter는 APS와 ECU의 사이에 설치되므로 acceleration pedal의 위치에 따른 출력신호의 변화와 시간에 따른 위치 및 출력신호의 변화를 관찰해서 electric filter로 인한 신호의 위상변화가 없음을 확인하였다.

또한, 측정 장비를 통해 추출된 data를 분석하기 위해 IBM SPSS version 23 통계 프로그램을 활용하였다.

4.2 연구 방법

자동차가 출시된 초기에는 기준에 적합한 매연이 나오게 되는 것이 일반적이다. 그러나 시간이 지날수록 많은 매연이 나온다. 이는 이미 선행 연구에서 논의된 바와 같이 ignition time과 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다. 기존 연구에서는 정확하게 injection이 일어난다고 하더라도 연료의 분사 형태, 방법, 농도 및 다양한 변수에 의해서 ignition time이 변화된다고 가정하고 연구를 진행한 것이다. 본 연구에서는 injection과 ignition time의 간극은 고려하지 않고, 노후화 된 차량의 경우 다양한 전기, 전자적 오류에 의해서 injection timing이 영향을 받는 것으로 가정하고 실험을 진행하였다. injection은 crank각에 따라 결정되며, 이는 RPM과 밀접한 관련이 있다. RPM은 APS신호에 따라 제어되는데, 노이즈에 의해 APS신호에 변화가 일어나면 분사시점에 영향을 받게 된다. 즉, 전기, 전자적 영향에 의해 injection timing이 변화함으로써 인해 매연 발생에 영향을 끼친다는 가정 하에 실험을 진행하였다.

실험을 수행하고, 유도하기 위해 다음과 같이 기호를 정의하였다. 괄호 안은 단위이다.

- E_i : 전자기적 노이즈 지표 (%)
- dI_{pm} : 파일럿점화와 주점화 사이의 간격 (ms)
- dI_{pp} : 파일럿점화와 파일럿점화의 간격 (ms)
- V_{oI} : 점화 전압 (V)
- S_i : 매연 지수 (Rz)

전기, 전자적 영향이 injection timing에 어떠한 형태로 영향을 미친다고 가정하고, injection timing의 영향

TABLE I
PAIRED SAMPLE STATISTICS (dI_{pm} , Vo_i)

		Mean	n	Standard deviation
dI_{pm}	Non Filter(X)	15.5461	160	.07973358
	Filter(O)	15.6485	160	.05789913
Vo_i	Non Filter	12.3111	160	1.1366640
	Filter	12.9658	160	1.4259473

TABLE II
PAIRED SAMPLE TEST (dI_{pm} , Vo_i)

		Mean	standard error	t	p -value
dI_{pm}	X~O	.102399	.01522516	6.726	.000
Vo_i	X~O	.654672	.2842254	2.303	.028

TABLE III
PAIRED SAMPLE STATISTICS (S_i)

		Mean	n	Standard deviation
S_i	Non Filter(X)	1.8139	108	.55403
	Filter(O)	1.5028	108	.50849

TABLE IV
PAIRED SAMPLE TEST (S_i)

		Mean	standard error	t	p -value
S_i	X~O	-.31111	.11288	-2.756	.009

장착상태(탈착)로 분리하여 분석을 실시하였는데, 이에 앞서, dI_{pp} 값은 RPM에 따라 값이 변화되고, dI_{pm} 값과 비례적 관계를 가지므로 dI_{pm} 값을 하나의 변수로 취급하였으며, 정확한 분석을 위해 동일한 RPM으로 data 코딩하여 Paired t -test를 실시하였다. 동일 집단에서 측정된 두 표본에서 측정된 두 변수 값의 평균차이를 검증하는 것이 Paired t -test이다. 즉 노후 차량에 electric filter를 장착했을 때의 data와 탈착했을 때의 두 변수 값의 평균차이를 검증하였다.

그 결과는 TABLE I PAIRED SAMPLE STATISTICS (dI_{pm} , Vo_i) - 대응표본 통계량과, TABLE II PAIRED SAMPLE TEST (dI_{pm} , Vo_i) - 대응표본 검증과 같이 나타났다.

우리는 SPSS를 통해 통계적 분석을 실시하였고, TABLE II에서처럼 dI_{pm} 항목에서 $p = 0.000$, Vo_i 항목에서 $p = 0.028$ 로 < 0.05 를 만족함으로 유의하다고 판

단할 수 있다. TABLE I에서 dI_{pm} 항목의 표준편차를 살펴보면, 미장착 상태에서 0.0797이, 장착 상태에서 0.0579로 나타났다. 이는 electric filter를 장착함으로써 미세하지만 표준편차가 줄어든다는 것을 확인 할 수 있다. 그만큼 안정적인 엔진상태가 된다고 볼 수 있다.

또한 이에 상응하는 S_i 측정 결과에 대한 Paired t -test 분석을 실시하였다.

TABLE III은 S_i 에 대한 대응표본 통계량으로 electric filter의 장착상태와 미장착 상태를 비교한 결과 장착상태에서 평균 1.5028의 S_i 이, 미장착 상태에서는 1.8139의 S_i 이 발생하는 것으로 나타나 실험결과 평균값으로 계산한 S_i 저감 효과는 약 17%로 나타났으며, TABLE IV에서 확인한 바와 같이 S_i 에 대한 대응표본 검증에서 $p = 0.009$ 로 < 0.05 를 만족함으로 본 데이터는 유의하다고 판단할 수 있다.

Data 분석 결과는 전기, 전자적 영향을 최소화 시키면 일정 RPM에서 pilot ignition과 main ignition의 분포를 고르게 가져갈 수 있고, pilot ignition과 main ignition의 간격이 고를수록 매연의 발생을 억제시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

6. 고 찰

노후 차량에 대한 injection time 및 매연 분석 결과 crank각 대비 분사 타이밍에 미세한 변화가 있을 수 있다는 것을 발견했다. 선행연구에서와 같이 지금까지 분사 타이밍의 변화에 주목한 연구는 없었다. 그러나 본 연구를 통해 ignition time의 변화가 다른 물리적, 화학적 작용 외에 노후 차량에서 발생하는 전자기 노이즈에 의해 기인할 수 있다는 것을 검증하였다. 검증을 위해 ignition time의 변화가 전기, 전자 노이즈의 영향에 따라 발생한다는 가정 하에 electric filter를 부착함으로써 실험을 진행하였으며, electric filter 장착 전의 injection time에 대한 data와 장착 이후의 injection time의 data를 통계적 기법을 통해 분석한 결과 electric filter를 장착하기 전에는 분산의 값이 크게 나오고, electric filter를 장착한 이후는 분산의 결과 값이 적게 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 electric filter에 의해서 더 정확한 injection time을 이끌어 낼 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 또한 매연 측정 data를 통계 분석하여 injection time의 변화에 따른 매연의 발생에 대하여도 검토한 바, 선행 연구에서도 언급된 바와 같이 ignition time과 밀접한 관계를 가질 뿐만 아니라, injection time에서 pilot injection과 main injection의 간격이 매우 중요하다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 노후 차량의 매연 발생은 물리적 상태로 인해서도 그 원인이 될 수 있지만, 전자적 원인에 의해서도 적지 않은 매연이 발생됨을 유추할 수 있다.

7. 결 론

본 연구를 통해 검증한 바로는 ECU 및 관련 sensor의 전기, 전자적 노이즈 및 오류를 줄이는 방법을 통해 injection time을 어느 정도 보상 할 수 있으며, pilot injection과 main injection의 간격은 매연 발생과 아주 밀접한 관계를 지닌다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 즉, ECU 및 관련 sensor의 전기, 전자적 노이즈와 오류를 줄이므로 인해 injection time을 보정하고 이를 통해 매연을 줄이는 효과를 볼 수 있다는 것이다.

실험에서 전자기 노이즈를 줄이는 방법으로 electric filter를 사용해서 일정부분 차량의 성능, 특히 매연 개선 효과가 있음을 실험적으로 밝혔으며, 향후 electric filter에 대한 연구를 통해 더 효과적인 노후 차량 성능 개선 효과를 볼 수 있을 것이다.

결론적으로 노후 차량은 많은 전기, 전자적 노이즈와 함께 오류를 가지고 있으며, 이를 효과적으로 차단함으로써 노후차량의 성능을 개선할 수 있는 여지가 있다는 것을 확인하였다. 향후 전기, 전자적 노이즈와 오류를 효과적으로 줄이는 방향의 추가적 연구가 더 선행되어야 할 필요가 있다고 하겠다.

References

- [1] R. K. Jurgen, 1995, "Automotive electronics handbook."
- [2] Heywood, John., 1988, "Internal combustion engine fundamentals," *McGraw-Hill Education*.
- [3] Henein, NA. and Bolt, JA., 1967, "Ignition delay in diesel engines," *SAE International*.
- [4] Kalghatgi, Gautam T., Per Risberg, and Hans-Erik Ångström., "Partially pre-mixed auto-ignition of gasoline to attain low smoke and low NOx at high load in a compression ignition engine and comparison with a diesel fuel," *SAE Technical Paper*, No. 2007-01-0006, 2007.
- [5] Brokaw, Paul. "Analog signal-handling for high speed and accuracy," *Analog Devices, AN-342* (1977).
- [6] Brokaw, Paul, and Jeff Barrow, "Grounding for low- and high-frequency circuits," *Dialogue* 18 (1984): 1.
- [7] International Electrotechnical Commission, "Vehicles, boats and internal combustion engines—Radio disturbance characteristics—Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers," 2007.
- [8] Noble, I. E. "Electromagnetic compatibility in the automotive environment," *IEE Proceedings—Science, Measurement and Technology* 141.4 (1994): 252-258.
- [9] White, Donald RJ, and Michel Mardiguian. *A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility: EMI Control Methodology and Procedures*. Interference Control Technologies, 1988.
- [10] Zverev, Anatol I. *Handbook of filter synthesis*. Wiley, 1967.
- [11] Ozenbaugh, Richard Lee, and Timothy M. Pullen. *EMI filter design*. CRC press, 2011.
- [12] S. D. Hires, R. J. Tabaczynski, and J. M. Novak, "The Prediction of Ignition Delay and Combustion Intervals for a Homogeneous Charge, Spark Ignition Engine," *SAE International*, 1978.
- [13] D. N. Assanis, Z. S. Filipi, S. B. Fiveland, and M. Syrimis, "A predictive ignition delay correlation under steady-state and transient operation of a direct injection diesel engine," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 125, No. 2, pp. 450-457, 2003.
- [14] J. Naber, D. Siebers, S. Di Julio, and C. Westbrook, "Effects of natural gas composition on ignition delay under diesel conditions," *Combustion and Flame*, Vol. 99, No. 2, pp. 192-200, 1994.
- [15] T. Kadota, H. Hiroyasu, and H. OYA, "Spontaneous ignition delay of a fuel droplet in high pressure and high temperature gaseous environments," *Bulletin of JSME*, Vol. 19, No. 130, pp. 437-445.
- [16] D. Bradley, and G. T. Kalghatgi, "Influence of autoignition delay time characteristics of different fuels on pressure waves and knock in reciprocating engines," *Combustion and Flame*, Vol. 156, No. 12, pp. 2307-2318, 2009.
- [17] S. Kobori, T. Kamimoto, and A. Aradi, "A study of ignition delay of diesel fuel sprays," *International Journal of Engine Research*, Vol. 1, No. 1, pp. 29-39, 2000.
- [18] D. L. Siebers, "Ignition delay characteristics of alternative diesel fuels: implications on cetane number," *SAE Technical Paper*, Report No.: 0148-7191, 1985.
- [19] D. Law, J. Allen, and R. Chen, "On the mechanism of controlled auto ignition," *SAE International*, 2002.
- [20] J. Benajes, S. Molina, and J. M. García, "Influence of pre- and post-injection on the performance and pollutant emissions in a HD diesel engine," *SAE International*, 2001.
- [21] T. Kamimoto, M. Akiyoshi, and H. Kosaka, "A numerical simulation of ignition delay in diesel engines," *SAE International*, 1998.
- [22] T. Saitoh, S. Ishiguro, and T. Niioka, "An experimental study of droplet ignition characteristics near the ignitable limit," *Combustion and Flame*, Vol. 48, pp. 27-32, 1982.
- [23] K. Tanabe, S. Kohketsu, and S. Nakayama, 205, "Effect of fuel injection rate control on reduction of emissions and fuel consumption in a heavy duty DI diesel engine," *SAE International*.
- [24] C. S. Kim, J. S. Yoo, "An experimental study on the waveform factors of electronically-controlled vehicles for the reduction of the fuel consumption by decrepit vehicles," *Journal of Korean Soc. of Mechanical Technology*, Vol. 15, No. 3, pp. 319-324, 2013.

- [25] Yoo J, Kim C and Cha K., 2011, "An experimental study on the secondary waveform analysis according to measure of electronic control waveform," *KSAE*, Vol 19, pp 95-100.
- [26] A. B. Williams, F. J. Taylor, B. W. Arthur, and J. T. Fred, "Electronic filter design handbook," 2006.



최년식(崔年植)

1965년 4월 13일생. 1988년 한양대 정밀기계공학과 졸업. 2004년 한양대 산업및정보시스템공학 졸업(석사). 2014년 한양대 산업공학과 졸업(공학). 1991년~2006년 현대/기아자동차 정보기술전략기획그룹장. 2006년~2009년 현대오토에버시스템즈 선임컨설턴트. 2013년~현재 신라대 융합기계공학부 교수.