논문번호 13-01-02
10
Journal of IKEEE.Vol.17,No.1,010~015,March 2013
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2013.17.1.010

스파크 플러그 케이블에서 복사되는 불요 전자파 감소 방안에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Reducing Method of Spurious Emission at the Spark Plug Cable

강 상 원*★, 최 광 제**, 허 정*

Sang-Won Kang*★, Gwang-Je Choe**, Jung Hur*

Abstract

This paper, we analyzed that the measured data of the radiated power spectrum of electromagnetic waves of the normal spark ignition system and the spark ignition system with feed through type ceramic condenser. The results show that the strength of power spectrum radiated from the system with feed through type ceramic condenser is weaker than the normal system, and the density of power spectrum radiated from the system with feed through type ceramic condenser is smaller than the normal system. From these results, the feed through type ceramic condenser can reduce the electromagnetic waves radiating from the spark ignition system which is the spurious emission, and it can be concluded that the ignition coil of the spark ignition system generating high voltage pulse is equivalent to the radio frequency oscillator which is oscillating high frequency from a electronic point of view.

요 약

정상적인 불꽃 점화 시스템과 관통형 세라믹 콘덴서를 부가한 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파의 전력 스펙트럼의 측정 데이터를 분석한 결과 관통형 세라믹 콘덴서를 부가한 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파는 정상적인 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파 보다 약하고, 스펙트럼 밀도 또한 소하였다. 이것은 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 불요 전자파를 관통형 세라믹 콘덴서가 감소시키는 것이라고 할 수 있으며, 고압의 펄스를 발생하는 점화 코일은 고주파를 발생하는 무선 주파 발진기라고 할 수 있다.

Key words : Electromagnetic wave(전자파), Spark ignition system(불꽃 점화 시스템), Power spectrum(전력 스펙트럼). Feed through type ceramic condenser(관통형 세라믹 콘덴서), Spurious emission (불요전자파 복사), Ignition coil(점화 코일)

*★ Dept. of Electronics and Information & Communication Engineering, Konkuk University (kangsan7@hanmail.net)031-450-6796
**Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Halla University.
*Dept. of Electronics and Information & Communication Engineering, Konkuk University.
★ Corresponding author
※ Acknowledgment
Manuscript received Feb. 8, 2013; revised Mar. 7, 2013 ; accepted Mar 8. 2013

Ⅰ. 서론

자동차의 지능화나 자동차의 스마트 화에는 차량내 통신 인터페이스 및 네트워크 등의 분야와 차량 외부와의 통신 등을 위한 분야가 분과로 나뉘어 다루어지고 있다[1]. 차량 외부와의 통신은 전파를 이용하여 정보를 송수신하는 것이 일반적인 방법이라고 할 수 있다. 따라서 불요 전자파 복사(spurious radiation)의 문제가 있는 불꽃 점화 엔진(spark ignition engine)을 탑재한 자동차인 경우에는 전자파 간섭과 전자파 장해도 고려하여야 할 것이다. 특히 불꽃 점화 시스템

에서 스파크 플러그 케이블을 사용하는 방식인 경우, 불꽃 점화 시스템을 구성하는 점화 코일과 스파크 플러그 케이블 및 스파크 플러그의 물리적인 구조와 그에 따른 전기회로의 동작 특성 등에 의하여 스파크 플러그 케이블에서는 수십 메가 헬즈 이상의 전자파를 복사하게 된다[2,3]. 즉, 스파크 플러그 케이블은 점화 코일에서 생성된 고압의 전기에너지를 스파크 플러그에 전송하는 것을 기본기능으로 하는 전송선로이기 때문에 스파크 플러그 케이블의 특성임피던스와 스파크 플러그의 임피던스가 부정합된 경우에는 스파크 플러그 케이블은 정재파 안테나로 동작하게 되어 전자파를 복사하게 된다[4].

불꽃 점화 시스템에서 불요파를 복사하는 스파크 플러그 케이블을 제거한 직접 점화 시스템(direct ignition system)을 이용하여 스파크 플러그 케이블로 인한 불요파 복사 문제는 해결할 수 있지만, 불요파 발생원인 점화 코일에 대한 문제를 해결한 것은 아니다. 또한, 현재도 스파크 플러그 케이블을 사용하여 생산되고 있는 차량과 스파크 플러그 케이블을 사용하여 생산된 기존의 차량에 대하여도 스파크 플러그 케이블로 인하여 복사되는 불요 전자파를 감소시킬 수 있는 방안에 대한 연구와 함께 불요파의 근원인 무선주파 (RF:radio frequency)성분을 발생시키는 점화 코일과 관련된 연구 또한 이루어져야 될 필요가 있다고 생각한다.

본 논문에서는 스파크 플러그 케이블에서 복사되는 불요파를 감소시키는 방안으로 대전력 무선통신기의 무선주파 발진부에서 전원선 등을 통하여 복사되는 불요파를 감소시키기 위하여 관통형 세라믹 콘덴서(feed through type ceramic condenser)를 사용하는 방법[5]을 불꽃 점화 시스템의 점화 코일과 스파크 플러그 케이블에 적용하였다. 그 결과 관통형 세라믹 콘덴서를 점화 코일과 스파크 플러그 케이블의 접속부근에 설치하였을 때 복사전력 스펙트럼은 정상적인 경우보다 복사 전자파의 복사 전력이 3[dB]~7[dB]정도 개선되는 것을 확인하였다.

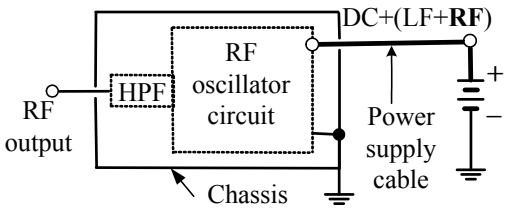


Fig. 1. Schematic diagram of RF oscillator unit
그림 1. RF 발진기의 구성도

이 결과는 불꽃 점화 시스템을 구성하는 점화 코일은 대전력 무선주파 발진부와 전기적으로 등가라 할 수 있고, 점화 코일에서 발생되는 무선주파에 대하여는 무선주파 발진부에 적용되는 기본 이론을 적용할 수 있음을 의미하는 것이라고 할 수 있다.

II. 본론

2. 배경 이론

불꽃 점화 시스템을 구성하는 점화 코일은 고압의 펄스를 발생시키는 전기장치이다. 점화 코일에서 발생된 고압의 펄스는 비정현파이며, 비정현파 펄스는 직류성분과 주파수와 진폭이 다른 다수의 정현파(기본파와 배조파 및 고차의 고조파)가 합성되어 형성된 것이다[4]. 이러한 고압의 펄스는 스파크 플러그 케이블을 통하여 스파크 플러그로 전송되는 과정에서 고차의 고조파가 전자파로 복사되는 것이다[6]. 이것을 무선통신공학의 용어를 적용하면 기본파와 배조파는 저주파(LF:low frequency), 고차의 고조파는 전자파로 복사되기 때문에 무선주파라는 용어로 대치할 수 있으며, 고차의 고조파 성분에 의하여 복사되는 전자파는 차량 운전자의 의도와는 관계없이 불꽃 점화 장치라는 전자기기에서 복사기하기 때문에 불요파라는 용어로 대치하여 사용할 수 있다. 따라서 불꽃 점화 시스템에서 점화 코일과 스파크 플러그 케이블의 전기적인 동작 특성은 Fig. 1에 나타낸 대전력 송신기의 무선주파 발진부의 전기적 동작과 유사하다고 할 수 있다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 발진회로에 바이어스 전압을 공급하기 위한 전원선(power supply cable)에는 직류(DC:direct current)성분 외에 무선주파 발진과정에서 생성된 저주파(LF)성분 및 무선주파(RF)성분이 존재하게 된다. 이것은 점화 코일의 2차측에 생성된 펄스가 스파크 플러그 케이블에 공급된 것과 유사한 것으로 볼 수 있다. 특히 전원선에 존재하는 무선주파성분은 Fig. 1에서 고역통과 필터(HPF: high pass filter)를 통과한 정상적인 무선주파 출력(RF output)과는 다른 의도하지 않는 전자파로 복사되어 통신 등에 악영향을 주는 불요파로 작용하는 점을 고려하면 점화 코일과 Fig. 1의 무선주파 발진회로(RF oscillator circuit), 스파크 플러그 케이블과 Fig. 1의 전원 공급선(power supply cable) 및 점화 코일의 케이스(case)와 Fig. 1의 새시(chassis)는 전기적인 동작 특성이 등가라고 할 수 있다.

Fig. 1의 경우와 같이 전원선을 통하여 무선주파성분이 유출되는 것을 감소시키기 위한 방안으로 Fig. 2와 같이 전원선(power supply cable)을 통과시키기

위한 새시(chassis)의 파공부 부근에 관통형 세라믹 콘덴서(feed through type ceramic condenser)를 설치한다[5].

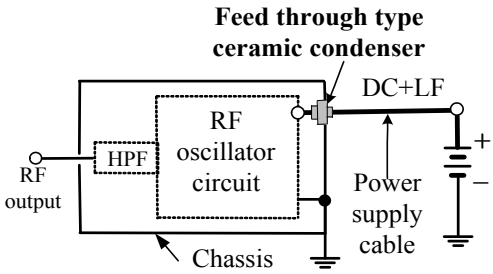


Fig. 2. Schematic diagram of RF oscillator unit with feed through type condenser
그림 2. 관통형 콘덴서를 가진 RF 발진기의 구성도

관통형 세라믹 콘덴서는 잔류 인덕턴스를 감소시킨 구조의 자기 콘덴서로 바이패스(by-pass)용으로 사용하기 위하여 제작된 전자소자이며, 관통형(feed through type)이라는 용어는 전원선이나 급전선(feeder)을 통과시키기 위한 구멍을 소자의 중심부에 형성된 소자의 모양에 기인하는 것이다. 이러한 관통형 세라믹 콘덴서를 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 무선주파 발진기나 무선주파 증폭기의 전원선 등에 설치하면, 콘덴서의 바이패스 기능에 의하여 무선주파성분이 새시 쪽으로 흐르게 되기 때문에 선로로 흐르는 무선주파 성분을 감소시키거나 방지할 수 있다. 따라서 관통형 세라믹 콘덴서는 고주파 회로나 무선기기의 안정화를 위하여 사용된다[5].

점화 코일과 점화코일의 케이스 및 스파크 플러그 케이블은 Fig. 1의 무선주파 발진부와 전기적인 동작특성이 등가라고 할 수 있기 때문에 관통형 세라믹 콘덴서를 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 스파크 플러그

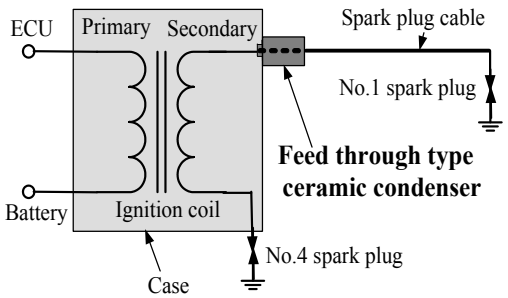


Fig. 3. Configuration of spark ignition system with feed through type condenser
그림 3. 관통형 콘덴서를 가진 불꽃 점화 시스템 구성

케이블에 설치하면 Fig. 2의 경우와 전기적으로 등가라고 할 수 있다. 따라서 점화 코일에서 스파크 플러그 케이블로 공급되는 무선주파성분은 점화 코일의 케이스와 차체 쪽으로 바이패스되어 스파크 플러그 케이블의 무선주파성분은 감소될 것이기 때문에 스파크 플러그 케이블에서 복사되는 전자파의 세기는 감소될 것이다.

Fig. 3은 하나의 점화 코일에 1개의 스파크 플러그(No.1 spark plug)는 스파크 플러그 케이블에 의해서 연결되고, 다른 스파크 플러그(No.4 spark plug)는 직접 연결되는 구조이며, 관통형 세라믹 콘덴서는 스파크 플러그 케이블에만 설치함을 강조하기 위하여 사용한 것이다.

III. 측정방법 및 결과 분석

3.1 실험 장치의 설치 및 측정 방법

측정 실험을 위한 장치는 Fig. 4와 같으며, 이는 불꽃 점화시스템에서 복사되는 전자파의 세기에 스파크 플러그가 미치는 영향에 대한 실험적 연구에서 사용한 측정 시스템과 동일하게 구성하였고, 실험 대상 차량 또한 동일한 차량으로 하였다[7].

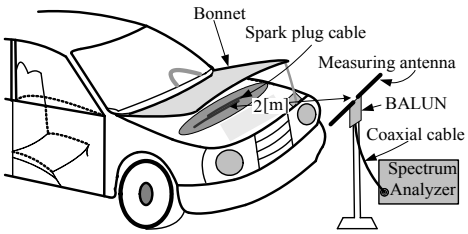


Fig. 4. Layout of measurement equipments
그림 4. 측정 장비들의 레이아웃

스파크 플러그 케이블을 4개 사용하는 차량으로는 배기량이 1300[cc]인 승용차(X 차)를 그대로 실험에 사용하였고, 스파크 플러그 케이블을 2개 사용하는 차량으로는 배기량이 2000[cc]인 승용차(Y 차)를 그대로 실험에 사용하였다. 이것은 불꽃 점화시스템에서 복사되는 전자파의 세기에 스파크 플러그가 미치는 영향에 대한 실험적 연구에서는 전기적인 특성이 다른 두 상황에 대하여 각각 측정한 결과를 비교 분석한 것이고, 본 연구에서는 물리적인 구조를 변화시켜 전기적인 특성을 다르게 한 두 상황에 대하여 측정한

결과를 비교 분석하는 것이기 때문에 불꽃 점화시스템에서 복사되는 전자파의 세기에 스파크 플러그가 미치는 영향에 대한 실험적 연구에서 사용한 실험 및 측정 방법을 그대로 사용하는 것은 차량의 경년에 따른 전자파 복사 상태의 변화는 있겠지만, 실험과 측정 과정에 대하여 참고 자료로 활용할 수 있을 것이기 때문이다.

따라서 실험 차량의 구동 상태 또한 1000[rpm] 이하의 공회전 상태로 하였고, 측정을 위한 스펙트럼 분석기의 측정 단위 또한 상대적인 비교가 용이한 [dBm]을 사용하였으며, 강한 전자파를 복사하는 대역이 X차는 대략 150MHz-350MHz이고, Y차는 250 MHz-450MHz 정도[6,7]임을 감안하여 스펙트럼 분석기의 측정 대역폭을 각각 설정하였다.

또한 X차는 복사 전자파의 최대 레벨이 -65[dBm] 정도이고, Y차는 -52[dBm] 정도[6,7]임을 감안하여 스펙트럼 분석기의 측정 레벨을 선정하였다. 이와 같이 최대 레벨이 차이기 나는 것은 X차인 경우 배기량이 1300[cc]이고 Y차는 배기량이 2000[cc]로 X차의 스파크 플러그 케이블에 공급되는 전압이 Y차의 경우보다 낮은 것에 기인하기 때문이다. 다만, 스펙트럼 밀도의 변화에 대한 대략적인 비교에 활용하기 위하여 측정 대역폭을 500[MHz] 또는 200[MHz]로 이원화하지 않고 200[MHz]로 일원화하였다.

실험에 사용된 관통형 세라믹 콘덴서는 상용 제품으로 동작 주파수 대역이 100[MHz]~500[MHz]이고 주파수 대역에 대응하는 임피던스 특성은 140[Ω]~400[Ω]인 제품을 사용하였다.

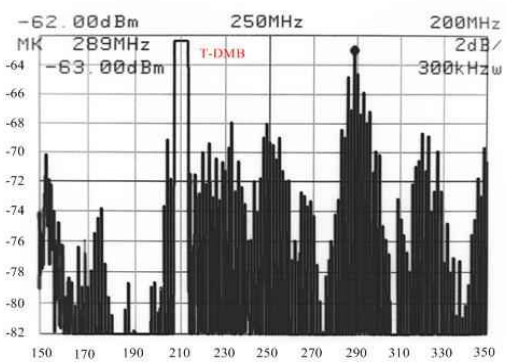
관통형 세라믹 콘덴서는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 점화 코일 케이스(case)의 외측과 스파크 플러그 케이블의 접속점 부근에 설치하였다.

관통형 세라믹 콘덴서를 설치하지 않은 정상적인 상태에서 복사되는 전자파의 전력 스펙트럼을 측정한 다음 Fig. 3과 같이 관통형 세라믹 콘덴서를 설치한 상태에서 복사되는 전자파의 전력 스펙트럼을 각각 측정하였다.

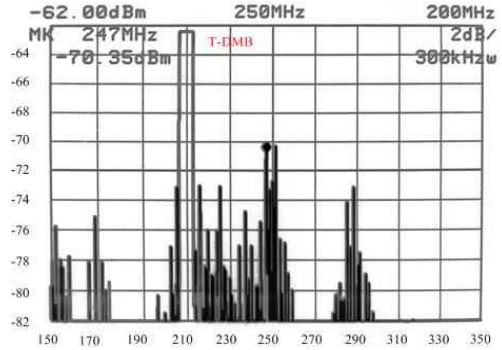
3.2 측정 결과 분석

측정 결과에 대하여는 실험에 사용된 스파크 플러그 케이블이 4개인 배기량 1300[cc]의 승용차는 X차(automobile X)로 표기하고, 스파크 플러그 케이블이 2개인 배기량 2000[cc]인 승용차를 Y차(automobile Y)로 표기하여 구분하기로 한다.

스파크 플러그 케이블에 관통형 세라믹 콘덴서를 설치하지 않은 정상적인 상태의 X차에서 복사되는 전자파를 측정한 결과는 Fig. 5(a)와 같으며, 스파크 플러그 케이블에 관통형 세라믹 콘덴서를 설치한 상태의 X차에서 복사되는 전자파를 측정한 결과는 Fig. 5(b)와 같다.



(a) normal



(b) feed through type ceramic condenser

Fig. 5. Measured results of electromagnetic waves radiated from automobile X

그림 5. 자동차 X로부터 복사되는 전자파 측정결과

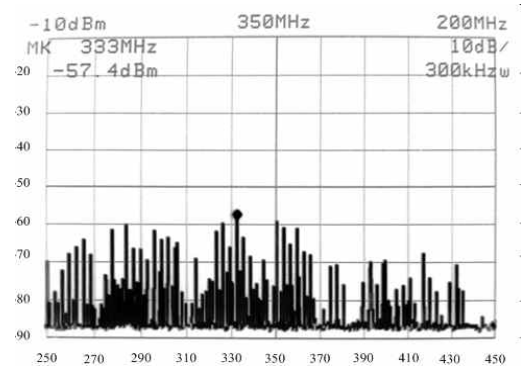
Fig. 5(a)의 측정 결과에서 최대 복사 전력레벨은 -63.00[dBm]이고, 복사 스펙트럼 분포는 150[MHz]~350[MHz]의 거의 모든 대역에 걸쳐서 분포하고 있다. 반면에 Fig. 5(b)의 측정 결과에서 최대 복사 전력 레벨은 -70.35[dBm]이고, 복사 스펙트럼은 190[MHz] 부근, 270[MHz] 부근, 300 [MHz]~350[MHz] 대역에는 분포되지 않고 있다. 또한 Fig. 5의 (a)와 (b)의 전체를 비교하여 보면, (a)와 (b)의 최대 복사 전력레벨의 차인 7[dB]만큼 (a)의 스펙트럼을 감소시키면 대략적으로 (b)의 스펙트럼 분포와 일치하는 것을 알 수 있다.

따라서 관통형 세라믹 콘덴서의 설치로 X차의 스

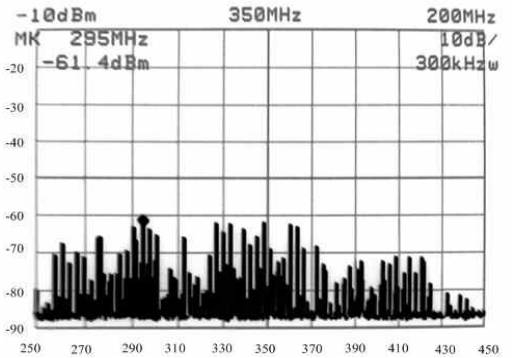
파크 플러그 케이블에서 복사되는 불요 전자파의 복사 전력레벨을 7[dB](약 1/5)정도 감소시켰다고 할 수 있다.

스파크 플러그 케이블에 관통형 세라믹 콘덴서를 설치하지 않은 정상적인 상태의 Y차에서 복사되는 전자파를 측정한 결과는 Fig. 6(a)와 같으며, 스파크 플러그 케이블에 관통형 세라믹 콘덴서를 설치한 상태의 Y차에서 복사되는 전자파를 측정한 결과는 Fig. 6(b)와 같다.

Fig. 6(a)의 측정 결과에서 최대 복사 전력레벨은 -57.4[dBm], Fig. 6(b)의 측정 결과에서 최대 복사 전력 레벨은 -61.4[dBm]으로 최대 복사 전력레벨의 차는 4[dB]이다.



(a) normal



(b) feed through type ceramic condenser

Fig. 6. Measured results of electromagnetic waves radiated from automobile Y

그림 6. 자동차 Y로부터 복사되는 전자파 측정결과

또한 Fig. 6(a)와 (b)의 전체 스펙트럼 분포를 비교하여 보면, 최대 복사 전력레벨의 차인 4[dB]만큼 (a)의 스펙트럼을 감소시키면 대략적으로 (b)의 스펙트럼 분포와 일치하는 것을 알 수 있다. 복사 스펙트럼은 (a)와 (b) 모두 250[MHz]~450[MHz]대에 고루 분포되어 있지만, -80[dBm]의 레벨에서 스펙트럼 밀도를 비교하여 보면, (a)보다 (b)의 밀도가 낮음을 볼 수 있는 데, 이는 특정 레벨 이하의 주파수 성분에 대하여 전자파로 복사되는 것을 관통형 세라믹 콘덴서가 바이 패스시키기는 기능에 의한 것이라고 할 수 있다. 따라서 관통형 세라믹 콘덴서의 설치로 Y차의 스파크 플러그 케이블에서 복사되는 불요파의 복사 전력레벨을 4[dB](약 1/2.5)정도 감소시켰다고 할 수 있다.

X차는 7[dB,] Y차는 4[dB]로 복사 전력 레벨의 감소 정도가 다른 것은 X차는 4개의 스파크 플러그 케이블을 사용하는 차량이기 때문에 케이블 마다 1개씩 4개의 관통형 세라믹 콘덴서를 사용하였고, Y차는 2개의 스파크 플러그 케이블을 사용하는 차량이기 때문에 케이블 마다 1개씩 2개의 관통형 세라믹 콘덴서를 사용한 것에 기인하는 것이라고 할 수 있다. 즉, Y차인 경우에는 그림3에 나타낸 바와 같이 점화코일의 2차측에 공급된 무선 주파 성분을 하나의 관통형 세라믹 콘덴서로 바이패스 시키는 것이지만 X차인 경우에는 병렬로 연결된 두 개의 관통형 세라믹 콘덴서로 바이패스 시키는 것이기 때문에 X차의 감소효과가 큰 것이라고 할 수 있다.

Ⅳ 결론

꽃 점화 시스템을 사용하는 차량의 엔진룸 내의 전자파는 불꽃 점화 시스템을 구성하는 점화 코일에서 생성된 고압의 펄스에 포함된 고차의 고조파성분이 스파크 플러그 케이블이라는 복사체를 통하여 전자파로 복사되는 것으로 해석하였다[2,3]. 스파크 플러그 케이블에서 복사되는 전자파는 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 불요파이기 때문에 감소시키거나 방지하는 것이 바람직하기 때문에 본 연구에서는 관통형 세라믹 콘덴서를 불꽃 점화 시스템의 스파크 플러그 케이블에 설치하면 스파크 플러그 케이블에서 복사되는 불요파를 감소시킬 수 있음을 실증하는 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 점화 코일과 스파크 플러그 케이블의 접속 부근에 관통형 세라믹 콘덴서를 설치하였을 때 복사전력 스펙트럼과 그렇지 않은 정상적인 경우의 복사 전력 스펙트럼을 각각 측정하여 비교 분석한 결과 스파크 플러그 케이블에 관통형 세라믹 콘덴서를 설치하였을 때 복사 전자파의 복사 전력의 세기가 3[dB]~7[dB]정도 개선(1/2~1/5정도 감소)됨을 확인하였으며, 복사 전력의 스펙트럼 밀도 또한 감소되는 것을 확인하였다. 이는 관통형 세라믹 콘덴서가 불꽃 점화

시스템에서 복사되는 전자파의 세기와 복사 전자파의 대역폭 및 복사 스펙트럼 밀도를 개선하는 효과가 있음을 확인한 것이다.

둘째, 관통형 세라믹 콘덴서을 점화 코일과 스파크 플러그 케이블의 접속부에 설치하면 복사 전자파 전력의 세기와 스펙트럼 밀도가 감소하는 것은 점화 코일은 무선주파 발진부와 전기적으로 등가일 수 있음을 확인한 것이라고 할 수 있다. 즉, 점화 코일은 고압의 펄스를 발생하는 것을 기본 기능으로 하는 펄스 발생기[8] 이지만, 고압의 펄스에 포함된 고차의 고조파는 불요파로 복사되는 무선주파이기 때문에 이때의 점화 코일은 무선주파 발진부의 기능을 하는 것으로 고려하여 관련 이론을 적용하여 해석할 수 있음을 실증한 것이라고 할 수 있다.

References

[1] S. B. Yu, "Standardization Activities on EV-SG PLC and Electric Two-wheeled Motor Vehicles" Journal of KSAE, Vol.34, No.4, pp. 25-31, 2012.

[2] G. J. Choe, S. G. Jho, W. L. Jeung, S. K Jang, S. H. Kang, "Analysis of Electro-magnetic Wave Radiating from an Ignition Plug and High-voltage Cable inside an Engine Room" Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp. 201-215, 2004.

[3] G. J. Choe, "An Experimental Study on Relation ship of the Engine rpm and the Strength of Electro-magnetic Waves in the Engine Room" Transactions of KSAE, Vol.14, No.3, pp. 112-118, 2006.

[4] S. A. Balanis, Antenna Theory, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 133-194, 1997.

[5] Yoshida, Know how of High-frequency circuit design know-how, CQ Publisher, Tokyo, pp. 30-93, 1996.

[6] G. J. Choe, S. G. Jho, W. L. Jeung, S. K Jang, S. H. Kang, "Analysis on the Power Spectrum of Electro-magnetic Waves Radiating from the Distributorless Spark Ignition System" Transactions of KSAE, Vol.16, No.1, pp. 45-51, 2008.

[7] G. J. Choe, S. G. Jho, S. K Jang, "An Experimental Study on the Effects of Spark Plug on the Strength of Electromagnetic Waves Radiating at the Spark Ignition System" Transactions of KSAE, Vol.15, No.6, pp. 94-101, 2007.

[8] T. Denton, Automobile electrical and electronic systems, Arnold, London, pp.110-129, 1997.

BIOGRAPHY

Kang Sang-Won (Member)

1999 : BS degree in Electrical Engineering, Semyung University.

2003 : MS degree in Electronics and Information & communication Engineering, Konkuk University.

Present : PhD course in electronics and information & communication Engineering, Konkuk University.

Choe Gwang-Je (Life Member)

1979 :BS degree in Wireless Communication Engineering, Kwamgwoon University.

1989 : MS degree in Electronics and Information & Communication Engineering, Konkuk University.

1997 : PhD in electronics and information & communication Engineering, Konkuk University.

Present : Professor, Electrical and Electronics Engineering, Halla University.

Hur Jung (Member)

1981 : BS degree in Electronics Engineering, Seoul National University.

1983 : MS degree in Electronics Engineering, Seoul National University.

1991 : PhD in Electronics Engineering, Seoul National University.

Present : Professor, Electronics and Information & Communication Engineering, Konkuk University.