

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.2.121>

JIIBC 2013-2-16

무배전기식 불꽃 점화 시스템의 점화 플러그 케이블에서 발생하는 전자파의 분석

Analysis of Electromagnetic Wave for Spark Plug Cable in Distributorless Spark Ignition System.

강상원*, 최광제**, 허정*

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

요 약 무배전기식 불꽃 점화 시스템의 스파크 플러그 케이블에서 발생하는 전자파에 대한 분석이다. 무배전기식 불꽃 점화 시스템인 경우에는 점화코일이 고주파 발생원이고 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그는 전자파를 복사하는 안테나로 동작 할 수 있다. 스파크플러그 케이블과 스파크 플러그의 길이를 측정하여 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나로 동작하는 안테나로 고려하여 HFSS를 이용하여 공진주파수를 계산하였다. 계산된 공진주파수와 엔진룸에서 복사되는 전자파의 전력 스펙트럼 분포를 측정된 결과를 분석하여 무배전기식 불꽃 점화 시스템이 특정한 주파수 대역에서 고주파 에너지를 복사한다는 것을 알 수 있다.

Abstract It is an analysis about electromagnetic wave which is generated from a Spark plug cable of Distributorless spark ignition system. In case of Distributorless spark ignition system, high frequency generation is an ignition coil and Spark plug cable and Spark plug could be activated with electromagnetic wave radiation antenna. I calculated a resonant frequency with HFSS by measuring length of Spark plug cable and Spark plug. The antenna was considered as $\lambda/4$ monopole antenna in this calculation. According to power spectrum measurement analysis of engine room radiated electromagnetic wave and calculated Resonant frequency, it is possible to find out that the Distributorless spark ignition system radiates high frequency energy in certain frequency band.

Key Words : Distributorless spark ignition system, Monopole antenna, Resonant frequency, Spark plug cable, Spark plug

1. 서 론

자동차 시스템은 점점 전자화되고 있다. 10여년 전만 해도 운전자가 페달을 밟거나 받을 때면 페달에 연결된

케이블이 엔진의 연료 밸브를 직접 열고 닫았다. 반면 최신 자동차들은 페달에 장착된 센서가 페달 움직임을 감지한 뒤 그 정보를 전자제어장치에 전달한다^[1]. 이 센서 또한 자동차 안에 내장된 수많은 전자부품 가운데 하

*정회원, 건국대학교 전자정보통신공학과

**정회원, 한라대학교 전기전자공학과

접수일자 2013년 2월 8일, 수정완료 2013년 4월 11일
계재확정일자 2013년 4월 12일

Received: 8 February 2013 / Revised: 11 April 2013

Accepted: 12 April 2013

*Corresponding Author: e-mail : kangsan7@hanmail.net

Dept. of Electronics and Information & Communication Engineering, Konkuk University, Korea

나로 전자파 간섭을 받을 수 있다. 불꽃 점화 시스템을 사용하는 자동차에서는 다양한 주파수의 전자파가 복사될 수 있다. 불꽃 점화 시스템에는 배전기를 사용하는 방식과 배전기를 사용하지 않는 무배전기식 점화 시스템이 있다^[2]. 무배전기식 불꽃 점화 시스템인 경우에는 점화 코일이 고주파 발생원이고 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그는 전자파를 복사하는 안테나로 동작할 수 있기 때문이다. 무배전기식 점화 시스템에서도 전자파가 복사될 수 있음을 예측할 수 있다. 이러한 무배전기식 불꽃 점화 시스템에서 복사될 수 있는 전자파는 선형 와이어 안테나 이론을 적용하여 해석할 수 있다.

본 논문에서는 스파크 플러그 케이블이 특정한 대역의 안테나로 동작하는 것을 초고주파 전송선로 이론과 선형 와이어 안테나 이론에 근거하여 해석하였다^[4,5,6]. 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 길이를 측정하여 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나로 동작하는 안테나로 고려하여 HFSS를 이용하여 공진주파수를 계산하였다. 계산된 공진주파수와 엔진룸에서 복사되는 전자파의 전력 스펙트럼 분포를 측정된 결과와 분석하여 무배전기식 불꽃 점화 시스템이 특정한 주파수 대역에서 고주파 에너지를 복사한다는 것을 알 수 있다.

II. 관련 연구

1. 무배전기식 점화 시스템의 구조

4행정 기관의 무배전기식 점화 시스템은 그림 1과 같이 길이가 서로 다른 4개의 스파크 플러그 케이블을 사용하여 점화 코일과 스파크 플러그를 연결하는 구조를 사용하는 것이 일반적이지만 길이가 서로 다른 2개의 스파크 플러그 케이블을 사용하여 점화 코일과 스파크 플러그를 연결하고 나머지 2개는 점화 코일에서 직접 스파크 플러그로 연결하는 구조를 사용하기도 한다^[2].

2. 안테나 이론

점화 코일의 2차측 코일에는 펄스 형태의 비정현파가 유도되어 스파크 플러그 케이블을 통하여 스파크 플러그에 전달된다^[4]. 따라서 점화코일의 2차측은 주파수가 다른 다수의 고주파를 발생시키는 발진기로 고려할 수 있다.

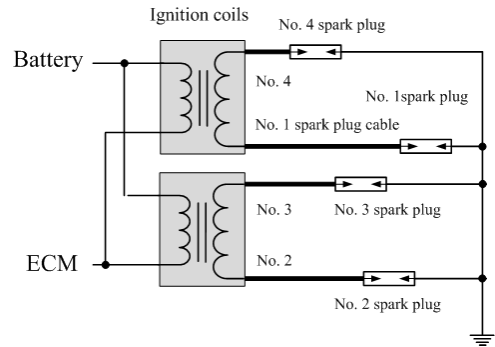


그림 1. 무배전기식 점화 시스템의 구조
Fig. 1. Configuration of distributorless ignition system

스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그를 하나의 도체로 구성된 것으로 가정할 때 스파크 플러그의 중심 전극과 접지 전극사이에는 개방되어 있고, 스파크 플러그 케이블의 한 쪽 끝은 전원단의 역할을 하는 점화 코일에 연결되어 있기 때문에 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그는 모노폴(monopole) 안테나의 구조라고 할 수 있다.

모노폴 안테나의 구조는 그림 2와 같이 접지면을 기준으로 수직으로 복사기인 도체를 설치한 형태로 선형 와이어 안테나인 모노폴 안테나라 한다. 또한 수직 접지 안테나라고도 한다^[3,6].

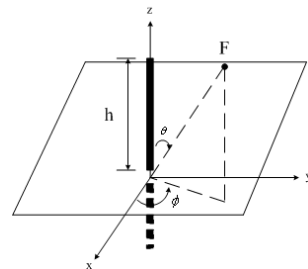


그림 2. 모노폴 안테나의 스케메틱 다이어그램
Fig. 2. Schematic diagram of monopole antenna

모노폴 안테나에서 공진 주파수 f_0 는 파장과 광속도에 관계가 있다. 복사기인 도체의 길이 h 와 파장 λ 의 관계는 $\lambda/4$ 이다. 그림 2와 같은 안테나를 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나로 동작하게 되며, 이때 전류 정재파 분포는 급전점에서 최대가 되고, 반대로 전압 정재파는 최소로 된다.

모노폴 안테나를 등가화 시키면 그림 3과 같이 R_a

(안테나 저항), L_a (안테나 인덕턴스), C_a (안테나 커패시턴스)가 직렬로 연결된 직렬공진회로로 나타낼 수 있다.

직렬공진회로의 직렬공진주파수 f_a 는 아래의 식으로 표현된다.

$$f_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_a C_a}} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

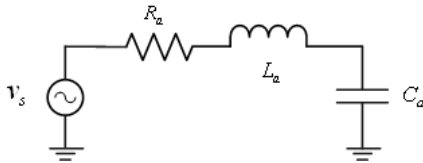


그림 3. 모노폴 안테나의 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit of monopole antenna

안테나 저항 R_a 는 전자파의 복사에 기여하는 복사저항과 손실저항의 합으로 볼 수 있다. 손실저항 성분이 큰 경우 안테나에서 복사되는 전력이 최대가 되지 않는다.

3. 스파크 플러그 케이블 시뮬레이션

스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 길이를 측정한 결과와 측정 길이를 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나로 고려한 공진주파수 결과가 표 1과 같다.

표 1. 측정되어진 길이와 계산된 공진 주파수
Table 1. Measured length and calculated resonant frequency

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
length[cm]	52	41	33	27
f_a [MHz]	144	183	227	278

$\lambda/4$ 수직 접지 안테나로 모델링하기 위해서 기본 스파크 플러그 케이블 구조를 이용하였다. 이 구조는 컨덕터(conductor)부분과 외심 자켓(outer jacket) 부분으로 구분이 된다. 컨덕터의 종류에는 카본 코어, 스틸, 동 등이 사용된다. 가장 많이 사용되는 컨덕터는 카본 코어이다. 모델링을 하기 위해서 카본 코어 대신 동(copper)을 사용해 컨덕터를 구성을 하였고, 외심 절연체는 온도 특성이 좋은 Silicone/EPDM을 사용하였다. 모델링한 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나의 직경은 10mm이고, 컨덕터는 5mm, 외심은 10mm로 구성하였다. $\lambda/4$ 수직 접지 안테나 구조

이므로 접지(프레임) 크기는 400mmX500mmX1.6mm로 구성하였다. $\lambda/4$ 수직 접지 안테나의 길이는 표 1과 같다.

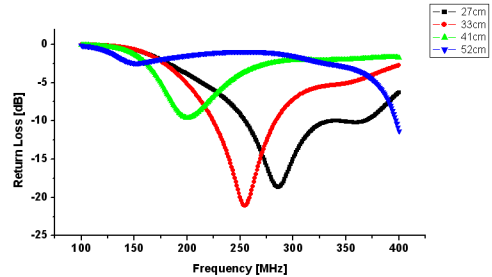


그림 4. 모노폴 안테나 시뮬레이션
Fig. 4. Simulation of monopole antenna

No. 1은 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그를 선형 와이어 안테나로 가정하여 시뮬레이션 한 결과로 공진주파수는 151[MHz]이고, No. 2의 공진주파수는 199[MHz], No. 3의 공진주파수는 255[MHz], No. 4의 공진주파수는 286[MHz]이다. No. 3의 VSWR=2 대역폭은 60[MHz],이고, No. 4의 대역폭은 114[MHz]이다. 표 1의 공진주파수와 시뮬레이션한 공진주파수 사이의 오차는 시뮬레이션 대역폭 400[MHz]의 13.5% 정도이다. 오차 발생원을 보면 접지 크기와 스파크 플러그와 스파크 플러그 케이블의 위치가 접지의 수직 방향이 아니고 수평 방향으로 위치하기 때문 일 수 있다.

시뮬레이션 결과에 나온 No. 1의 공진주파수인 151[MHz]와 No. 2의 공진주파수인 199[MHz]의 반사손실 값이 -2.5[dB]와 -9.8[dB]이다. 그러나 자동차의 접지는 차체가 되므로 접지 조건이 좋아져서 반사손실 값은 -10[dB] 이하로 동작 될 것이다.

접화코일 2차측과 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그는 엔진 룸 안에 존재하기 때문에 시뮬레이션 조건을 엔진 룸을 설정하였다. 엔진 룸 크기는 1530mmX1200mmX740mm이다. 엔진 룸의 조건은 보닛과 웬다, 격벽으로 구성 되어 있으며 엔진 룸의 아랫면은 개방을 하고, 아랫면의 중앙에 엔진을 고정하는 장치가 있어서 중앙에 프레임이 있는 구조이다.

엔진룸의 조건에 따라 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나의 공진주파수를 비교하여 보면 표 2와 같다. 엔진룸의 조건에 따른 공진주파수 오차는 시뮬레이션 대역폭 400[MHz]의 8% 정도이다.

표 2. 시뮬레이션 된 공진주파수의 비교

Table 2. Comparison of simulated resonant frequency

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Monopole ant. [MHz]	151	199	255	286
Mono_ ant in engine room [MHz]	144	208	266	291

그림 5는 엔진룸내의 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나가 수평인 구조의 결과이다. 엔진룸내의 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나 결과를 분석하면 반사계수가 $-10[\text{dB}]$ 이하가 되면 $\text{VSWR}=2$ 이하가 된다. 이 값은 전력이 88.9% 이상 안테나를 통해 전파된다는 것이다.

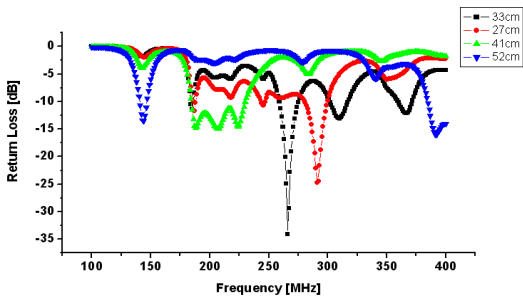


그림 5. 엔진룸 안에서 공진주파수 계산
Fig. 5. Simulation resonant frequency in engine room

표 2의 공진주파수를 중심으로 $\text{VSWR}=2$ 대역폭을 비교하여 보면 No. 1은 $7[\text{MHz}]$, No. 2는 $46[\text{MHz}]$, No. 3는 $17[\text{MHz}]$, No. 4는 $20[\text{MHz}]$ 대역폭을 갖는 것을 알 수 있다. 이 결과 값을 보게 되면 점화 코일의 2차측을 발전기로 가정하고 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그를 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나로 가정한다면 송신 안테나 시스템으로 동작 할 있다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 엔진룸에서 스파크 플러그와 스파크 플러그 케이블을 모노폴 안테나로 동작하는 것으로 가정하여 시뮬레이션 한 복사 패턴이다.

자동차 엔진룸 구조를 보면 보닛과 양쪽 쉘다, 자동차 실내쪽의 격벽으로 구성되어 있다. 복사패턴의 결과를 보면 엔진룸의 보닛과 양쪽 쉘다, 격벽이 반사판 역할을 하는 것을 알 수 있다.

그러나 자동차 실내쪽 격벽의 경우 구조적으로 전자파가 퍼져나갈 수 있는 구조가 되므로 자동차 실내에서

도 전자파가 존재할 수 있다는 것을 예측 할 수 있다.

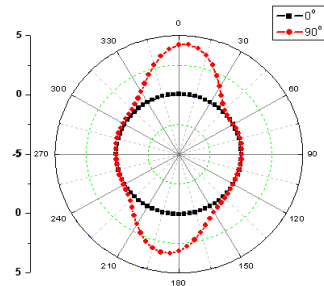


그림 6. 엔진룸 안에서 복사패턴 (150MHz 이득패턴)
Fig. 6. Simulation radiation pattern in the engine room at 150MHz (gain pattern)

4. 측정 실험 및 측정 결과 분석

불꽃 점화 시스템이 동작하는 경우에 복사되는 전자파의 전력 스펙트럼을 측정하기 위하여 안테나와 스펙트럼 분석기를 측정 장치로 구성하였다. 측정용 안테나는 반파장 다이폴 안테나를 사용하였고 측정시 차량의 엔진 회전은 1,000rpm 이하의 공회전 상태를 유지하고 각종 전기장치를 사용하지 않은 상태에서 측정하였다.

엔진룸에서 발생하는 전력 스펙트럼의 측정 결과는 그림 7에 나타내었다. 복사 전력 레벨이 최대인 스펙트럼을 공진주파수의 스펙트럼으로 보고 4개의 포락선으로 나타내었다.

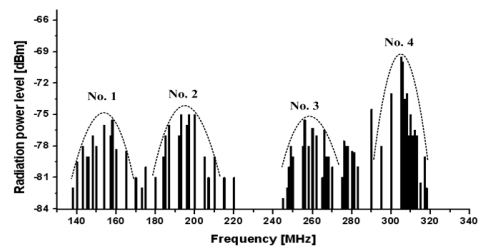


그림 7. 복사 전력 스펙트럼의 측정 결과^[1]
Fig. 7. Measured result of radiation power spectrum^[1]

4개의 포락선의 공진주파수는 각기 다른 4개의 안테나에서 전자파가 복사되는 것과 같다.

각각의 포락선에서 복사 전력 레벨이 최대인 대략적인 주파수는 포락선 No. 1은 $155[\text{MHz}]$, 포락선 No. 2는 $193[\text{MHz}]$, 포락선 No. 3는 $255[\text{MHz}]$, 포락선 No. 4는 $297[\text{MHz}]$ 정도이다.

포락선 No. 1-No. 4는 표 2의 결과 값과 상당히 유사하기 때문에 포락선 No. 1-No. 4의 복사 전력 스펙트럼은 스파크 플러그 케이블 No. 1-No. 4에서 각각 복사되는 전자파의 스펙트럼이라고 할 수 있다.

III. 결론

무배전기 불꽃 점화 시스템에서 점화코일의 2차측과 스파크 플러그 케이블, 스파크 플러그 구조를 안테나 이론을 적용하여 해석하였다. 공진주파수 계산은 HFSS를 이용하여 계산하였고, 전자파의 전력 스펙트럼 분포는 스펙트럼 분석기로 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 무배전기 불꽃 점화 시스템에서 점화코일 2차측이 고주파 발생원이고 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그는 전자파를 복사하는 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나로 동작 할 수 있다.
- 2) 서로 길이가 다른 4개의 스파크 플러그 케이블과 그에 연 결된 4개의 스파크 플러그는 4개의 공진주파수를 발생하고, 복사 전력 레벨의 측정하여 포락선 분포를 분석하면 4 개의 공진주파수가 다른 $\lambda/4$ 수직 접지 안테나 동작한다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] G. J. Choe, S. G. Jho, W. L. Jeung, S. K. Jang, S. H. Kang, "Analysis on the Power Spectrum of Electromagnetic Waves Radiating from the Distributorless Spark Ignition System," Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 1, pp.45-51, 2008
- [2] T. Denton, Automobile Electrical and Electronic Systems, Arnold, London, pp.110-129, 1997
- [3] Constantine A. Balanis, Modern Antenna Handbook, Wiley, pp.59-68, 2005
- [4] M. J. LEE, M. Hall, O. A. Ezekoye, R. Matthews and S. S. Chung, "A Study on Behaviour and Characteristics of Spark Discharge in Spark Ignition System," Transactions of KSAE, Vol.14, No.1, pp.100-108, 2006
- [5] E. C. Jordan and K. G. Balmain, Electromagnetic Waves and Radiation Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.345-396, 1968
- [6] Constantine A. Balanis, Antenna Theory, Wiley, pp.151-194, 2005

저자 소개

강 상 원(정회원)



- 1995년 : 세명대학교 전자공학과 학사 (공학사)
 - 2003년 : 건국대학교 전자정보통신과 석사 (공학석사)
 - 현재 : 건국대학교 전자정보통신과 박사과정
- <관심분야 : 안테나 및 전파전파>

최 광 제(정회원)



- 1979년 : 광운대학교 무선통신과 (공학사)
 - 1989년 : 건국대학교 전자공학과 석사
 - 1997년 : 건국대학교 전자공학과(공학박사)
 - 현재 : 한라대학교 전기전자공학과 교수
- <관심분야 : 안테나 및 무선기기>

허 정(정회원)



- 1981년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)
 - 1983년 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)
 - 1991년 : 서울대학교 전자공학과(공학박사)
 - 현재 : 건국대학교 전자정보통신 공학과 교수
- <관심분야 : 안테나 및 전파전파, 마이크로파>