

불꽃 점화시스템에서 복사되는 전자파의 세기에 스파크 플러그가 미치는 영향에 대한 실험적 연구

최 광 제^{*1)} · 조 시 기²⁾ · 장 성 국²⁾

한라대학교 전기전자공학과¹⁾ · 한라대학교 기계자동차공학부²⁾

An Experimental Study on the Effects of Spark Plug on the Strength of Electromagnetic Waves Radiating at the Spark Ignition System

Gwangje Choe^{*1)} · Shigie Jho²⁾ · Sungkuk Jang²⁾

¹⁾Department of Electrical & Electronic Engineering, Halla University, Gangwon 220-712, Korea

²⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Halla University, Gangwon 220-712, Korea

(Received 10 April 2007 / Accepted 14 August 2007)

Abstract : This paper, we analyzed that the measured data of the radiated power spectrum of electromagnetic waves and the standing wave ratio(SWR) of the spark plug cable and spark plug. The measured data are the power strength of the electromagnetic waves radiated from the spark ignition system, the measured frequency ranges are 110 to 610MHz. The results show that the strength of radiated power spectrum and bandwidth have relation to the SWR of the the spark plug cable and spark plug, and the SWR of them is different because of the characteristics of resistor at the spark plug is different with the manufacturers. From the analyzed results, it can be concluded that the less SWR is little, the less maximum level of power spectrum is weak and bandwidth above the reference level is small.

Key words : Electromagnetic wave(전자파), Standing wave ratio(정재파비), Spark ignition system(불꽃 점화 시스템), Power spectrum(전력 스펙트럼)

1. 서 론

불꽃 점화 엔진(spark ignition engine)을 탑재한 자동차인 경우, 불꽃 점화 시스템은 전자파를 복사할 수 있으며, 복사 전자파의 주파수가 약 80 [MHz] 이상의 전자파는 점화 시스템을 구성하는 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 물리적인 구조와 그에 따른 전기적인 특성과 관계가 있다.^{1,2)} 즉, 복사 전자파의 중심(공진) 주파수는 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 리액턴스 성분(인덕턴스 성분과 커패시턴스 성분을 합성한 리액턴스 성분이 0 [Ω]이 되는 조건)에 따라서 결정된다.¹⁾ 또한, 전송

선로에서 에너지 전달 특성은 전송선로의 특성 임피던스와 부하(load) 임피던스의 관계에 따라서 에너지 전달 특성은 다르게 된다. 즉, 전송선로의 특성 임피던스와 부하 임피던스에서 저항성분과 리액턴스 성분이 각각 같은 경우(임피던스 정합이라고 함)에는 부하에 최대 에너지가 전달되지만, 임피던스 정합이 이루어지지 않은 때에는 부하에 최대 에너지가 전달되지 않으며, 임피던스 정합이 이루어지지 않은 고주파 전송선로에는 고주파 에너지원 쪽에서 전송선로를 통하여 부하 쪽으로 이동하는 진행파와 부하에서 소비되지 않은 에너지가 전송선로를 통하여 고주파 에너지원 쪽으로 이동하는 반사파가 공존하게 되고, 전송선로에 공존하는 진행파

*Corresponding author, E-mail: kjchoi@halla.ac.kr

와 반사파는 상호 합성되어 정재파(standing wave)를 형성하게 된다.^{3,4)} 이러한 경우에 전송선로는 정재파 안테나로 동작하게 되어 고주파 전력 에너지를 전자파 에너지로 변환하여 외부로 복사하게 된다.⁵⁾

본 논문에서는 불꽃 점화 시스템에서 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 구성과 전기적인 동작이 고주파 전송선로와 유사하다는 점을 고려하여 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그를 각각 고주파 전송선로와 부하로 대응시켜서 전송선로 이론과 정재파 안테나 이론을 적용하여 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 임피던스 정합 정도에 대하여 해석하고, 임피던스 정합 정도에 따라서 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파의 복사 전력 스펙트럼을 측정하여 비교 분석함으로써 전송선로 이론과 안테나 이론에 의한 해석의 타당성을 실증하였다.

스파크 플러그의 내부저항은 제품에 따라서 그 값이 다르게 나타나는데⁶⁾ 것을 이용하여 스파크 플러그 케이블의 임피던스는 일정하게 유지하고, 내부저항이 다른 스파크 플러그(스파크 플러그의 내부저항이 다르면 스파크 플러그의 임피던스가 다르게 됨)를 케이블에 연결하면, 불꽃 점화 시스템의 임피던스 정합 정도가 변화되기 때문에 시스템에서 복사되는 전자파의 세기가 변화 된다는 점을 고려하였다.

2. 배경 이론

4행정 기관의 무배전기식 점화 시스템(distributorless ignition system)은 Fig. 1(a)와 같이 길이가 서로 다른 4개의 스파크 플러그 케이블을 사용하여 점화 코일과 스파크 플러그를 연결하는 구조를 사용하는 것이 일반적이지만, Fig. 1(b)와 같이 길이가 서로 다른 2개의 스파크 플러그 케이블을 사용하여 점화 코일과 스파크 플러그를 연결하고, 나머지 2개는 점화 코일에서 직접 스파크 플러그로 연결하는 구조를 사용하기도 한다.⁷⁾

Fig.1에서 한 조의 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그는 Fig. 2와 같은 R-L-C 등가회로로 나타낼 수 있다.^{1,3,8)}

Fig. 2(a)서 R_c, L_c, C_c 는 각각 스파크 플러그 케이블

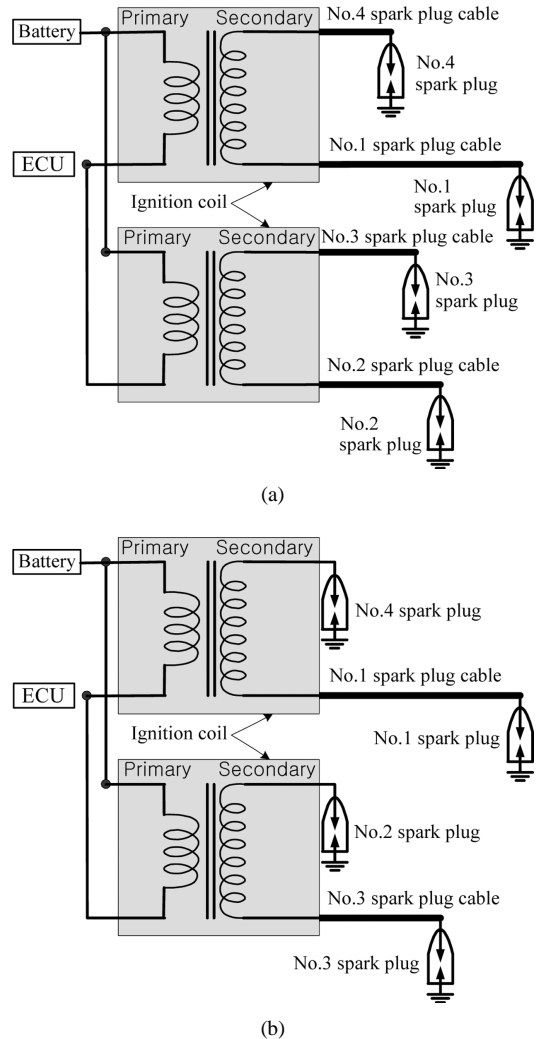


Fig. 1 Configuration of distributorless ignition systems

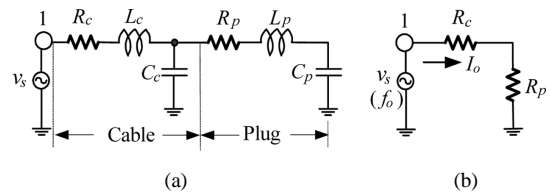


Fig. 2 Equivalent circuits of spark plug cable and spark plug

의 저항, 인덕턴스, 커패시턴스를 나타내고, R_p, L_p, C_p 는 각각 스파크 플러그의 저항, 인덕턴스, 커패시턴스를 나타낸다. Fig. 2(a)에 공진주파수 f_o 가 인가되면, 회로의 리액턴스 성분은 $2\pi f_o(L_c + L_p) - 1/\{2\pi f_o(C_c + C_p)\} = 0$ 이 되기 때문에 스파크 플러그

그 케이블과 스파크 플러그의 임피던스는 저항성분으로 된다. 따라서 Fig. 2(a)의 회로는 Fig. 2(b)와 같이 R_c 와 R_p 가 직렬로 연결된 전송선로로 고려될 수 있게 된다. 즉, 특성 임피던스가 R_c 인 고주파 전송선로에 부하임피던스 R_p 가 연결된 저항만의 회로로 고려할 수 있다. $R_c = R_p$ 인 경우에는 임피던스가 정합된 경우이므로 정재파비(standing wave ratio: SWR) s 가 $1(s = R_p/R_c = 1)$ 이므로 스파크 플러그 케이블에는 진행파(Fig. 2(b)에서 송전단 1에서 부하 R_p 로 향하는 파동)만 존재하고, 반사파(Fig. 2(b)에서 부하 R_p 에서 송전단 1로 향하는 파동)는 존재하지 않는 경우로 되기 때문에 R_p 에는 최대 전력이 공급된다. 그러나 $R_c < R_p$ ($R_c \neq R_p$)인 경우에는 정재파비가 1보다 크게 되어 스파크 플러그 케이블에는 진행파와 반사파가 공존하게 되고, 두 파가 합성된 정재파가 존재하게 된다. 따라서 부하저항 R_p 에는 최대 전력이 공급되지 않게 되고, 스파크 플러그 케이블은 전자파를 복사하는 정재파 안테나로 동작하게 된다.^{3,5,8)}

Fig. 2(b)에서 전압원 v_s 에 의하여 회로에 공급되는 전력을 P_i , 부하(스파크 플러그)저항 R_p 에서 소비되는 전력을 P_l , 정재파비를 s 라고 하면, $P_l/P_i = \{(4s)/(1+s)^2\}$ 의 관계가 있기 때문에 정재파비 s 가 클수록 부하에 전달되는 전력 P_l 은 작게 되고 반사전력은 증가하게 된다.⁸⁾

고주파 전송선로에서는 선로상에 진행파만 존재하는 경우나 정재파가 존재하는 경우나 모두 전자파를 복사하게 된다. 선로상에 존재하는 전진파를 이용한 안테나를 진행파 안테나라고 하고, 선로상에 존재하는 정재파를 이용한 안테나를 정재파 안테나라고 한다. 정재파 안테나는 진행파 안테나보다 전자파 복사 효율이 높으며, 정재파 안테나에서 최대의 전자파 에너지가 복사되는 경우는 공진주파수 f_o 가 인가된 경우이다.^{5,8)}

3. 실험과 측정 방법 및 결과 분석

3.1 실험 장치의 설치

실험 장치의 설치에 자동차 전자파(EMC) 시험기

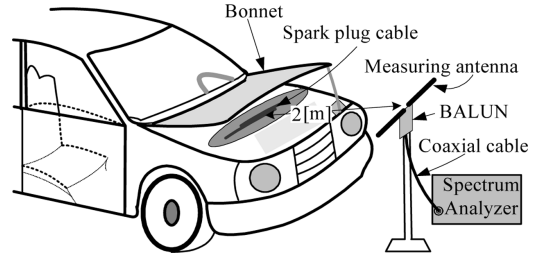


Fig. 3 Layout of measurement equipments

준 및 시험방법에 관한 문헌들을 참고하여 Fig. 3에 나타난 바와 같이 설치하였으며, 측정 안테나(measuring antenna)는 평형형 반파장 공진 다이폴(balanced half wave resonant dipole)과 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer)를 사용하여 구성하였다.^{7,8)} 실험 차량으로는 Fig. 1(a)와 같은 불꽃 점화 시스템을 사용하는 차량으로는 배기량이 1300[cc]인 승용차를 선정하였고, Fig. 1(b)와 같은 불꽃 점화 시스템을 사용하는 차량으로는 배기량이 2000[cc]인 승용차를 선정하였다. 불꽃 점화 시스템의 점화 코일에서 스파크 플러그 케이블에 공급되는 순시전압은 배기량이 1300[cc]인 차량과 배기량 2000[cc]인 차량이 다르기 때문에 공급되는 전력은 다르게 된다. 즉 정재파비가 동일하더라도 입력전력이 다른 경우 복사되는 전자파의 복사전력이 다르게 되는 것^{7,8)}에 대하여 실증함으로써 배경이론의 해석에 대한 타당성을 재확인하기 위한 것이다.

3.2 측정 방법

자동차 전자파(EMC) 시험기준 및 시험방법에 관한 문헌들에는 측정조건으로 보닛을 닫고, 엔진은 1500[rpm]을 유지하고, 측정용 안테나는 평형형 반파장 공진 다이폴 또는 기준 안테나로 정규화(normalization)할 수 있는 안테나, 측정 거리는 3[m] 또는 10[m], 측정 주파수는 스폿 주파수(spot frequency)로 45[MHz], 65[MHz], 90[MHz], 120[MHz], 150[MHz], 190[MHz], 230[MHz], 280 [MHz], 380[MHz], 450 [MHz], 600[MHz], 750 [MHz], 900[MHz]로 설정, 측정 결과는 복사전계의 레벨인 [dB μ V/m] 또는 [μ V/m]로 표기, 측정 공간은 전파암실 등의 기준과 방법을 제시하고 있다.^{9,10)}

본 논문은 실험 대상 차량이 자동차 전자파 기준

에 적합한지를 실험하기 위한 것이 아니고, 불꽃 점화 시스템을 사용하는 차량에서 발생하는 전자파 발생원에 대한 분석과 전자파 발생을 최소화시키기 위한 조건을 규명하고자 하는 것이다. 따라서 논문의 목적에 부합되는 측정을 위하여 실험장치의 설치 및 측정방법에 자동차 전자파 시험기준과 시험방법을 참고로 하였다. 즉, 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파가 보닛에 의하여 차폐되어 복사 전자파의 세기가 감소되는 것과 보닛에 반사되는 전자파에 의하여 복사 전자파의 스펙트럼 분포가 변형되는 것을 방지하기 위하여 보닛을 열고 측정하였고, 외부 전자파의 영향을 줄이기 위하여 측정거리도 2[m]로 설정하였고, 측정 주파수는 복사 전자파의 스펙트럼 분포를 분석하기 위하여 특정한 스폿 주파수를 사용하지 않고 측정 대역폭을 500 [MHz] 또는 200[MHz]로 하였으며, 적절한 측정을 위하여 스펙트럼의 중심주파수를 변경 및 그에 따른 측정용 안테나를 사용하여 측정을 수행하였으며, 측정 결과도 에너지 전달 관계를 해석하기 위하여 복사 전계레벨을 나타내는 [dB μ V/m]를 사용하지 않고 복사 전자파의 전력 레벨로 상대적인 비교가 용이한 [dBm]을 사용하였다. 또한 차량의 구동상태도 규정된 1500[rpm]이 아닌 1000[rpm] 이하의 공회전 상태에서 측정을 수행하였다. 1000[rpm] 이하의 공회전 상태에서 실험을 한 것은 이 상태에서 복사되는 전자파의 세기가 1500 [rpm]인 경우보다 커서²⁾ 측정의 정확도를 높일 수 있기 때문이다.

3.3 측정 결과 분석

실험에 사용된 Fig. 1(a)와 같은 구조의 점화 시스템을 사용하는 소형 승용차는 X차(X car)로 표기하고, 중형 승용차는 Y차(Y car)로 표기하여 구분하기로 한다.

또한 X차와 Y차의 점화 시스템에 실험용으로 사용된 스파크 플러그 케이블의 저항 R_c 및 내부저항 R_p 의 값이 다른 두 스파크 플러그에 대하여는 A형(type A)과 B형(type B)으로 표기하여 구분하기로 한다.

X차의 점화 시스템에 사용된 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 저항을 측정할 값은 Table 1과 같다.

Table 1 Measured values of resistor for plugs and cables of car X

구분	No.1	No.2	No.3	No.4
R_c	2.797[k Ω]	2.195[k Ω]	1.775[k Ω]	1.476[k Ω]
R_p	A	27.85[k Ω]	27.43[k Ω]	24.91[k Ω]
	B	4.95[k Ω]	4.95[k Ω]	4.70[k Ω]

Table 2 Calculated values of SWR(s) for Table 1

구분	No.1	No.2	No.3	No.4
X차	A	9.96	12.50	14.03
	B	1.78	2.26	2.65

Table 3 Calculated values of P_r/P_i for Table 1

구분	No.1	No.2	No.3	No.4
X차	A	0.67	0.73	0.75
	B	0.08	0.15	0.20

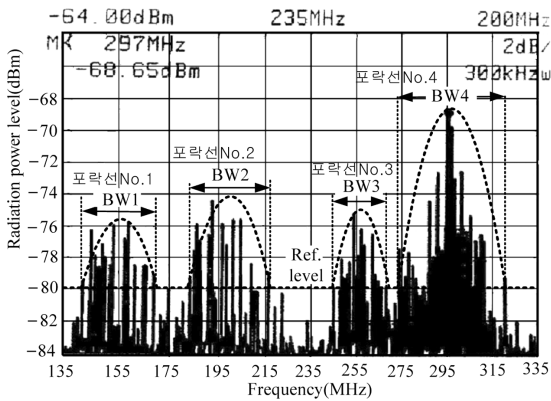
Table 1의 측정값은 주위 온도가 약 15°C에서 측정된 값이며, A형과 B형 스파크 플러그를 각각 12개씩 측정하여, 저항값의 편차가 작은 4개의 플러그를 선정하여 실험에 사용하였다.

Table 1의 측정 결과에 대하여 배경이론에서 고찰한 정재파비($s = R_p/R_c$)를 계산한 결과는 Table 2와 같다.

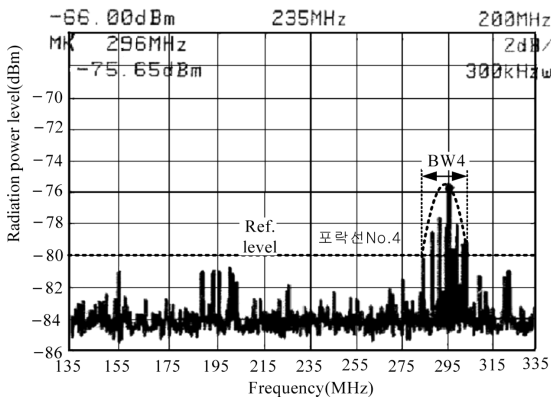
배경이론에서 살펴본 정재파비와 부하에 전달되는 전력 관계식 $P_r/P_i = \{(4s)/(1+s)^2\}$ 을 입력 전력(P_i)과 부하에서 반사되는 반사전력(P_r)의 관계식으로 변형하면, $P_r/P_i = 1 - P_l/P_i$ 의 관계로 된다. 이 식과 Table 2의 결과를 이용하여 입력전력에 대한 반사전력의 비를 구하면, Table 3과 같다.

X차에 A형 스파크 플러그를 사용한 경우의 복사 전자파를 측정할 결과는 Fig. 4(a)와 같으며, B형 스파크 플러그를 사용한 경우의 복사 전자파를 측정할 결과는 Fig. 4(b)와 같다.

Fig. 4의 포락선에서 최대레벨이 가장 작은 것은 Fig. 4(a)의 포락선 No.1과 Fig. 4(b)의 포락선 No.4로 대략적인 값은 -76[dBm]이다. 이 레벨 보다 3[dB] 낮은 대역폭(반치 전력 대역폭으로 스펙트럼 분포에서 최대레벨 전력값의 1/2에 해당하며, 안테나공학 등에서 실용 대역폭 선정에 기준으로 사용⁵⁾)은 -79[dBm] 정도이어서 이 레벨을 기준레벨로 선정하



(a) Type A plug



(b) Type B plug

Fig. 4 Measured results of electromagnetic waves radiated from car X

는 것이 바람직하지만, 데이터의 비교 분석을 용이하게 하기 위하여 이보다 1[dBm] 낮은 -80[dBm] (Fig. 4에서 Ref. level)을 기준레벨로 설정하였다. Fig. 4에서 포락선 No.1- No.4는 Fig. 1(a)의 스파크 플러그 케이블의 No.1- No.4에 대응하여 나타낸 것이다.

Fig. 4의 스펙트럼 분포에서 -80[dBm] 이상의 대역폭을 비교하기 위하여 BW1-BW2로 나타내었으며, 각 포락선의 최대레벨과 대역폭은 Table 4와 같다.

Table 2와 Table 3에서 정재파비가 클수록 반사전력은 증가된다. 또한 정재파비(반사전력)가 큰 A형 스파크 플러그를 사용한 경우에는 Fig. 4(a)와 Table 4에서 보는 바와 같이 넓은 주파수 대역에서 큰 양의 전자파가 복사되지만, 정재파비(반사전력)이 작

Table 4 Measured values of BW and maximum level for car X

구분		포락선 1 (BW1)	포락선 2 (BW2)	포락선 3 (BW3)	포락선 4 (BW4)
최대레벨 [dBm]	A	75.5	-74.5	-75.0	-68.7
	B	-80이하	-80이하	-80이하	-75.7
대역폭 [MHz]	A	30	35	20	50
	B	-	-	-	20

은 B형 스파크 플러그를 사용한 경우에는 Fig. 4(b)와 Table 4에서 보는 바와 같이 정재파비가 다소 큰 No.4 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그(포락선 No.4)에서 기준레벨 이상의 전자파가 복사됨을 알 수 있다. 또한, 최대 복사 전력레벨은 7[dB] (약 1/5)로 감소하고, 기준레벨 이상의 복사대역폭은 1/2 이하로 감소함을 알 수 있다.

이상에서 불꽃 점화 시스템을 구성하는 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 정재파비를 개선함으로써 복사 전자파를 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 1(b)와 같은 구조의 점화시스템에 대하여는 기존에 발표된 바 있는 데이터¹¹⁾를 사용하기로 한다.

Fig. 1(b)와 같은 점화시스템을 사용하는 차량에 대한 실험에 사용된 스파크 플러그 케이블의 저항 R_c 와 스파크 플러그의 저항 R_p 의 측정값은 Table 5와 같으며, 측정시 주위 온도는 약 15°C이었다. 스파크 플러그는 A형과 B형 스파크 플러그를 12개씩 측정하여, 저항값의 편차가 작은 4개의 플러그를 선정하여 실험에 사용하였다.¹¹⁾

Table 5의 측정 결과에 대하여 정재파비(s)를 계산한 결과는 Table 6과 같다.

Table 5 Measured values of resistor for plugs and cables of car Y

구분	No.1	No.2	No.3	No.4
R_c	1.575[kΩ]	-	0.542[kΩ]	-
R_p	A	20.05[kΩ]	25.26[kΩ]	24.05[kΩ]
	B	4.36[kΩ]	4.43[kΩ]	4.40[kΩ]

Table 6 Calculated values of SWR(s) for Table 5

구분	No.1	No.2	No.3	No.4
Y차	A	12.73	-	44.37
	B	2.77	-	8.11

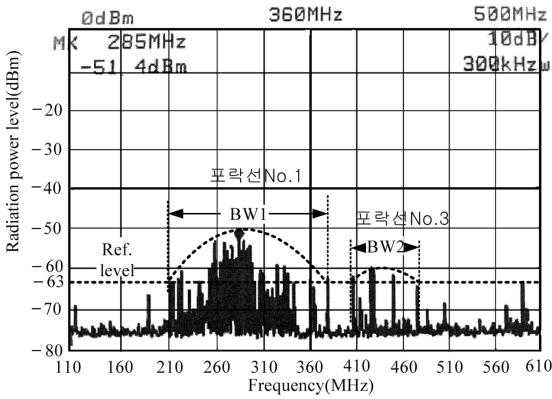
Table 7 Calculated values of P_r/P_i for Table 6

구분	No.1	No.2	No.3	No.4
Y차	0.73	-	0.91	-
B	0.22	-	0.61	-

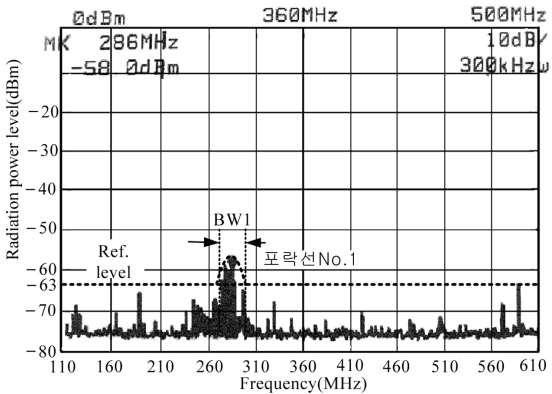
Table 6 결과를 이용하여 입력전력에 대한 반사전력의 비(P_r/P_i)를 구하면 Table 7과 같다.

Y차에 A형 스파크 플러그와 B형 스파크 플러그를 사용한 경우에 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파를 측정 한 결과는 각각 Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)와 같다.¹¹⁾

Fig. 5에서 포락선 No.1, 포락선 No.3는 Fig. 1(b)의 스파크 플러그 케이블의 No.1, No.3에 대응하여 나타난 것이다. 또한, Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)의 스펙트럼 분포를 비교 해석하기 위한 기준레벨은 X차의 경우



(a) Type A plug



(b) Type B plug

Fig. 5 Measured results of electromagnetic waves radiated from car Y

Table 8 Measured values of BW and maximum level for car Y

구분		포락선 1 (BW1)	포락선 2 (BW2)	포락선 3 (BW3)	포락선 4 (BW4)
최대레벨 [dBm]	A	51.4	-	-60.0	-
	B	-58.0	-	-63이하	-
대역폭 [MHz]	A	170	-	75	-
	B	30	-	-	-

와 동일한 방법인 3[dB] 대역폭에 해당하는 레벨을 설정하였다. 즉, Fig. 5의 포락선에서 최대레벨이 가장 작은 것은 Fig. 5(a)의 포락선 No.3이며, 그 값은 -60[dBm] 정도이기 때문에 이 레벨보다 3[dB] 낮은 -63[dBm](Fig. 5에서 ref. level)으로 설정하였으며, 이 기준레벨 이상의 대역폭을 각각 BW1, BW3로 나타내었다.

Fig. 5의 스펙트럼 분포에서 -63[dBm] 이상의 대역폭을 비교하기 위하여 BW1-BW2로 나타내었으며, 각 포락선의 최대레벨과 대역폭은 Table 8과 같다.

Table 6과 Table 8에서 정재파비가 개선됨에 따라서 복사전력의 최대레벨과 기준레벨 이상의 복사대역폭 감소함을 알 수 있다. 즉, 포락선 1에서 최대 복사 레벨은 7.6[dB](약 1/6) 감소하고, 기준레벨 이상의 대역폭은 1/5 이하로 감소함을 알 수 있다. 또한 Table 6에서 B형 스파크 플러그에 대한 정재파비는 No.1 스파크 플러그 케이블의 경우 2.77이고, No.3 스파크 플러그 케이블의 경우는 8.11이어서 No.1의 정재파비 보다 좋지 않지만, Fig. 5(b)에서는 포락선 No.3에 해당하는 대역에서 기준레벨 이상의 전자파가 복사되지 않는다. 이것은 Table 6에서 A형 스파크 플러그에 대한 정재파비는 No.1 스파크 플러그 케이블의 경우는 12.73이고 No.3 스파크 플러그 케이블의 경우는 44.37로 동일한 레벨의 전력이 입력된 경우라면, No.3 스파크 플러그 케이블에서 복사되는 전자파의 레벨이 No.1 스파크 플러그 케이블에서 복사되는 전자파의 레벨보다 커야된다. 그러나 Fig. 5(a)에서 포락선 No.1의 최대 복사레벨은 285[MHz]에서 -51.4[dBm]이고, 포락선 No.3의 최대 복사레벨은 425[MHz] 정도에서 -60 [dBm]으로 포락선 No.1이 11.4[dB](약 14배) 크다. 이것은 No.1 스파크 플러그 케이블에 입력되는 고주파 성분(210[MHz]-380[MHz])의 입력 전력이 No.3 스파

크 플러그 케이블에 입력되는 고주파 성분(405 [MHz]-480 [MHz]) 보다 14배 이상 큰 것에 기인하는 것이다.

4. 결론

무배전기식 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 고주파의 전자파가 복사되는 것은 불꽃 점화 시스템을 구성하는 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그 및 불꽃 방전을 일으키기 위하여 공급되는 고압의 펄스(다수의 정현파의 합성)에 기인한다.^{1,2)} 이러한 불꽃 점화 시스템의 전기적인 동작 특성은 고주파 전송선로와 송신 안테나의 동작과 유사하기 때문에 에너지 전달 특성은 회로를 구성하는 임피던스에 의하여 달라지게 된다. 본 논문에서는 이러한 점을 고려하여, 고주파 전송선로에서 에너지 전달 특성의 해석에 사용하는 정재파비를 적용하여 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파의 세기를 해석하고, 내부저항이 다른 스파크 플러그를 사용하는 경우에 복사되는 전자파의 복사 전력레벨을 측정하여 관련 이론의 타당성에 대하여 실증하는 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 일정한 저항값을 갖는 스파크 플러그 케이블에 내부저항 값이 다른 스파크 플러그를 구성하는 실험을 통하여 스파크 플러그의 저항값에 따라 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파의 세기와 특정 레벨(기준으로 설정한 레벨) 이상의 복사 전자파의 대역폭에 지대한 영향이 있음을 확인하였다.
- 2) 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 임피던스에 의하여 결정되는 정재파비를 이용한 이론적인 해석과 이것들에 의하여 복사되는 전자파의 세는 상관관계가 있음을 관련 실험을 통하여 확인하였다. 이것으로서 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 전자파의 해석에 고주파 전송선로와 안테나 이론을 적용한 해석의 타당성을 재확인하였다.
- 3) 불꽃 점화 시스템을 구성하는 스파크 플러그 케이블과 스파크 플러그의 임피던스에 의한 정재파비가 최소화되도록 구성하면 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 고주파의 전자파의 세기를 현

저히 감소시킬 수 있기 때문에 특정 레벨 이상의 전자파가 복사되지 않는 불꽃 점화 시스템을 구현할 수 있음을 실증하였다.

- 4) 본 연구는 불꽃 점화 시스템에서 복사되는 고주파의 세기를 감소시키기 위한 불꽃 점화 시스템 설계에 유용한 자료로 활용할 수 있을 것이다.

References

- 1) G. J. Choe, S. G. Jho, W. L. Jeung, S. K. Jang and 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.
- 2) G. J. Choe, "An Experimental Study on Relationship 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.
- 3) S. Y. Liao, Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.8-72, 1987.
- 4) C. H. Durney and C. C. Johnson, Introduction to Modern Electromagnetics, McGraw-Hill Book, Seoul, pp.316-351, 1986.
- 5) S. A. Balanis, Antenna Theory, John Wiley & Sons, New York, pp.133-194, 1997.
- 6) 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.
- 7) T. Denton, Automobile Electrical and Electronic Systems, Arnold, London, pp.110-129, 1997.
- 8) E. C. Jordan and K. G. Balmain, Electromagnetic Waves and Radiation Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp.215-396, 1968.
- 9) J. K. Shin, "Electromagnetic Compatibility Measurement Procedures and Limits for Vehicle Components," Proceedings of KEES, Vol.7, No.2, pp.17-29, 1996.
- 10) M. Bangemann, Council Directive 95/54/EC,

Official Journal of the European Communities,
No.L.266, pp.1-64, 1995.

- 11) J. S. Moon, J. G. Kim, S. G. Jho, S. H. Lee, I. S. Kim, M. S. Lee and G. J. Choe, "An Experimental Study on the Relationship of the Radiating Electro-magnetic Wave in the Engine Room and the Spark Plug," Spring Conference Proceedings, KSAE, Vol.III, pp.1441-1446, 2006.