

反復點火方式의 點火能力에 關한 研究¹

An Investigation on Ignition Ability of the Repetitive Sparks

趙 慶 國*, 鄭 仁 碩*
Kyung-Kook Cho In-Seuck Jeung

ABSTRACT

The ignition characteristics of repetitive electric sparks into a quiescent acetylene-air premixture and LPG-argon-air premixture was investigated by using a home-made Repetitive-Spark-Generator(RSG) to elucidate the effect of fuel burning velocity to ignition ability of RSG.

Results show that the optimum spark delay time interval is strongly related with fuel burning velocity, or implicitly with characteristic reaction time scale of each fuel.

1. 序 論

오래 前부터 內燃機關, 航空機엔진 등에 있어서 點火性能은 매우 重要的 問題로 대두되어 왔다. 特히 最近에 이르러 內燃機關에서 有害排氣가스 排出抑制 및 燃費節減을 위하여 稀薄混合氣 燃燒方式을 導入함에 따라서 點火性能은 安定된 燃燒過程을 위한 決定的인 主要因子로 부각되었다.

本 研究에서 點火方式으로 擇한 電氣點火方式의 點火機構에 關한 研究는 많은 研究가 이루어졌으며, 그 中에서도 Ballal과 Lefebvre¹⁾는 流動混合氣에 있어서 點火繼續時間과 點火率과의 相互關係를 調査하여 大략 點火繼續

時間이 30~80 μ s에서 最小點火에너지를 나타낸다는 結論을 얻었다. Kono 등^{2),3)}은 容量成分點火方式에 있어서 點火回路內의 誘導成分을 增加하여 放電周波數를 減少시키면 260 KHz 以下에서 더욱 點火率이 上昇하여 약 100~200 KHz 사이에서 點火性能의 最大值가 存在함을 發表하였다.

國內에서 吳貞均⁴⁾, Cho와 Jeung⁵⁾에 의해 通常의 電流遮斷式 點火裝置에 比해 放出에너지가 높은 CDI(Capactor Discharge Ignitor) 單發點火方式과 高電壓 펄스發生裝置(HVPG; High Voltage Pulse Generator) 反復點火方式을 利用하여 單發點火方式과 反復點火方式의 點火能力을 比較하고 點火에너지와 點火電

1. 本 研究의 一部 內容은 1984年 7月 2日~7月 13日 開催된 第10次 國內外科學技術者學術大會에서 구두 발표된 바 있었음.

* 正會員, 서울大學校 航空工學科

極의 영향을 조사하여 2회의 스파아크를 適當한 스파아크時間 間隔으로 行하는 경우 點火限界의 擴張을 얻을 수 있음을 觀察하였는데 프로판-공기 豫混合氣의 경우에 最適 스파아크時間 間隔은 50~100 μ s 이었다.

本 研究에서는 2회의 電氣點火를 反復的으로 行하는 反復點火方式의 點火能力을 考察하기 위하여 燃燒速度가 反復點火方式의 點火性能에 미치는 영향을 觀察하고자 아세틸렌-空氣豫混合氣와 LPG-空氣-Argon 豫混合氣를 使用하여 反復點火方式의 點火性能을 調査하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

2-1 燃 燒 室

Fig.1에 直徑 50mm, 깊이 50mm의 圓筒型 燃燒室을 보인다. 이 燃燒室의 體積은 約 393 cm^3 이다. 點火플러그는 아크릴에 直徑 1mm의

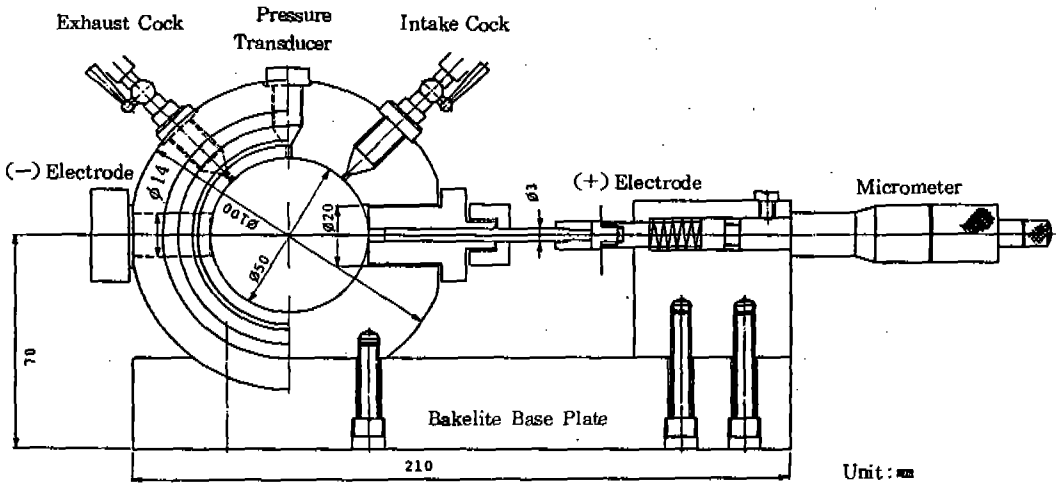


Fig.1 Schematic Drawing of the Closed Combustion Chamber

號는 두개의 축전기를 順次的으로 放電하게 된다.

反復點火裝置의 最大放電에너지는 入力電壓 5KV 일 때 約 100mJ로 反復點火時 에너지 總量은 2×100mJ이다. 이때 電壓, 電流測定

스테인레스 鐵芯을 끼우고 鐵芯은 針端型으로 가공하였다. 그리고 燃燒에 따르는 壓力增加 與否를 確認하기 위해 PCB 타입의 壓力픽업 (pick-up)을 燃燒室 上部에 附着하였으며 火炎의 觀察을 위하여 두께 20mm의 유리판을 燃燒室 前後面에 設置하였다.

2-2 點火裝置 및 周邊測定裝置

本 研究에서 使用한 點火裝置는 反復點火裝置(Repeated Spark Generator)로 그 概念圖를 Fig.2에 나타낸다. 反復點火裝置는 放電에너지를 축전기의 용량을 고정하고 축전기에 충전되는 電壓을 變換함으로써 결정한다. 따라서 選擇할 수 있는 에너지의 範圍가 細分되어질 수 있다. 그리고 이 裝置는 2회의 點火만 行하도록 설계되어 있는데 이 2회의 스파아크를 두개의 다른 축전기가 맡아서 하므로 信號制御部에서 設定한 스파아크 間격에 따라 서로 다른 소스(source)에서 信號가 發生되며 이 信

은 TEKTRONIX 468 디지털 스토리지 오실로스코프(Digital Storage Oscilloscope)로 하였는데 電壓은 分壓裝置를 使用하여 1/1000로 縮小하여 測定하였고 電流는 낮은 임피던스(Impedance)의 저항을 利用하여 測定하였다.

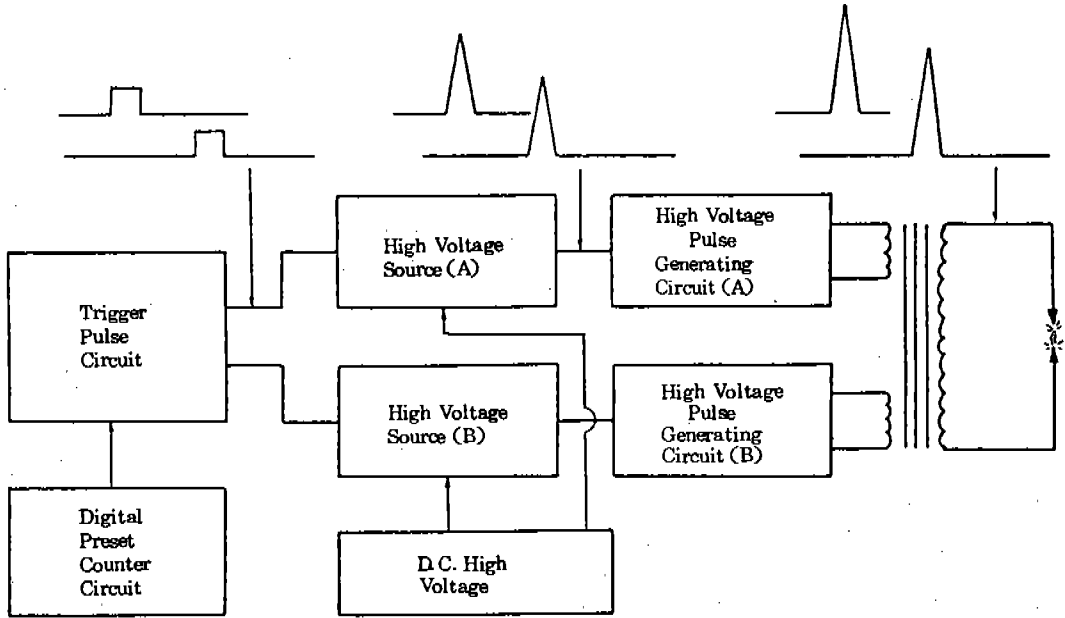


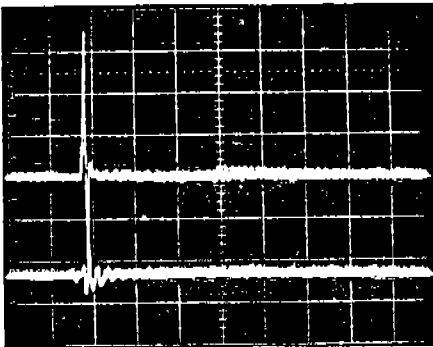
Fig.2 Schematic Diagram of Repeated Sparks Apparatus

2-3 實驗方法

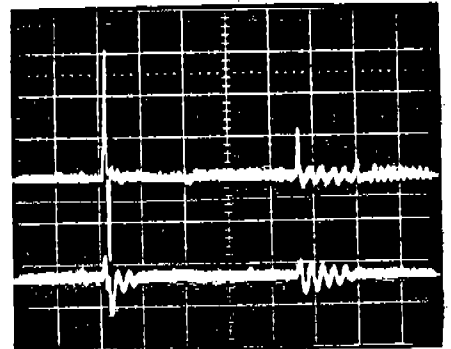
아세틸렌-空氣 豫混合氣 및 LPG-아르곤-空氣 豫混合氣의 反復點火特性을 考察하기 위하여 電極間隔을 2mm로 하여 總에너지 量은

같은 1회 및 反復點火를 하였다. 反復點火裝置의 1회 및 反復點火時의 電壓·電流의 波形을 Fig.3에 보인다.

LPG-아르곤-空氣의 豫混合氣의 경우 아르곤의 比率은 1.15%, 3.5%에 대해 實驗하여



(a) Single Spark
time scale = 10 μ s/div



(b) Repeated Sparks
interval = 50 μ s
energy distribution = 1:1
time scale = 10 μ s/div

Fig.3 Wave Profile of Single Spark and Repeated Sparks

Upper channel: voltage 5,000 V/div Lower channel: current 25A/div
Spark gap width: 2.5mm

添加劑로서 아르곤이 最適點火遲延時間間隔에 미치는 影響을 調査하였다. 이때 混合比는

$$MR = \frac{P_g}{P_a - P_{H_2O} - P_{Ar}}$$

로 하여 同一混合比이면 아르곤의 比率에 관계없이 酸素에 대한 燃料의 比率이 같도록 하였다.

3. 實驗結果 및 檢討

Fig. 4에 아세틸렌의 反復點火特性을 보인다. 여기서 보면 아세틸렌의 燃燒速度가 프로판의 경우보다 最適點火遲延時間間隔이 짧아지는 傾向을 알 수 있다. 또한 프로판에서와 같이 反復點火의 경우가 1回 點火보다 點火能力이 向上된다는 점도 알 수 있다.

Fig. 5에 最適點火遲延時間間隔 特性을 나타낸다. 여기에서 알 수 있는 바와 같이 아세틸렌의 경우는 最適點火遲延時間間隔이 약 25 μs 이다. 이는 Shock Tube에 의한 實驗結果로 아세틸렌의 경우 10 μs 오더(order)의 인덕션 타임(Induction time)을 가진다는 것과 잘 일치한다고 생각되며⁶⁾ 또 Kono 등의 1차원 모델에 의한 點火時間 計算式으로 아세틸렌 2.65%의 경우를 계산하면⁹⁾

點火時間 τ_i 은

$$\tau_i = \frac{C_p \cdot \rho \lambda}{\pi} \left\{ \frac{T_p - T_g}{q v_o \rho_o} \right\}^2 = 5.02 \times 10^{-9} \times$$

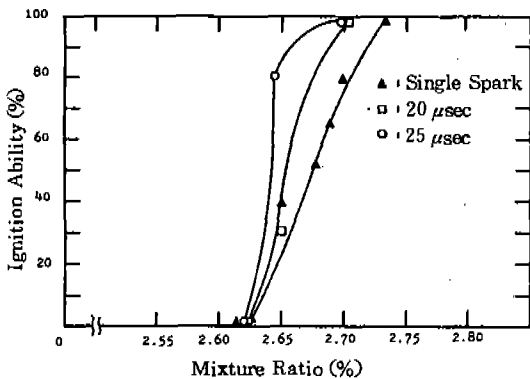


Fig. 4 Ignition Ability of Repetitive Spark as a Parameter of Mixture Ratio
Acetylene-air Mixture, Spark gap : 2 mm
Stored Energy : 2×100 mJ

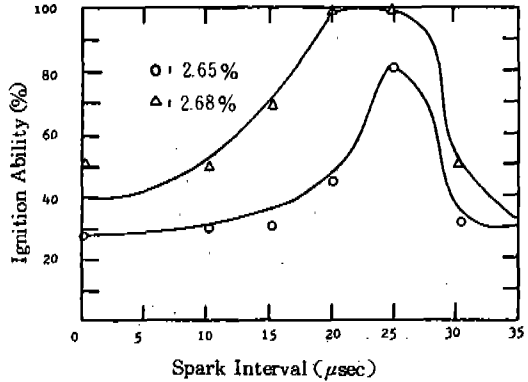


Fig. 5 Ignition Ability of Repetitive Spark as a Parameter of Spark Delay Time Interval
Acetylene-air Mixture, Spark Gap : 2 mm,
Stored Energy : 2×100 mJ

$$\frac{8,424,154}{50^2} \approx 17 \mu s$$

이때 T_p 는 水谷幸夫의 計算方法에 의하여 구하였고⁷⁾ 그 溫度는 1,371°K이며 燃燒速度 v_o 는 data가 없으므로 既存의 結果에서 외삽법으로 하여 연소속도 50 cm/s를 사용하였다.⁸⁾ 실제로는 연소속도가 더 작을 것이므로 τ_i 가 더 클 것이나 대략 그 값은 50 μs 미만이다. ($v_o = 40$ cm/s 일때 $\tau_i = 26.5 \mu s$, $v_o = 30$ cm/s 일때 $\tau_i \approx 47 \mu s$)

따라서 點火에 요하는 時間이 경과한 후에 다시 에너지를 가하는 경우가 가장 點火性能이 좋아질 것으로 생각되며 이는 實驗結果와 잘 일치한다.

그리고 Fig. 4에서 보듯이 本 實驗의 경우 點火性能이 좁은 混合比 領域에서 급격한 變化를 보이는데 이는 本 實驗이 아세틸렌의 가연한계 부근에서 이루어졌음에 기인하는 것으로 생각된다. 아세틸렌의 가연한계가 乾燥空氣內에서 2.5%로⁹⁾ 本 實驗條件에 상당히 가깝고 또 本 實驗에서의 混合氣에 다소의 수증기가 포함되어 있음을 고려할 때 거의 가연한계에 이르렀다고 생각할 수 있다.

Fig. 6에 아르곤(Ar)을 添加劑로 한 反復點火特性을 나타낸다. 여기에서 보면 아르곤의 比率이 높아질수록 最適點火遲延時間間隔이 길

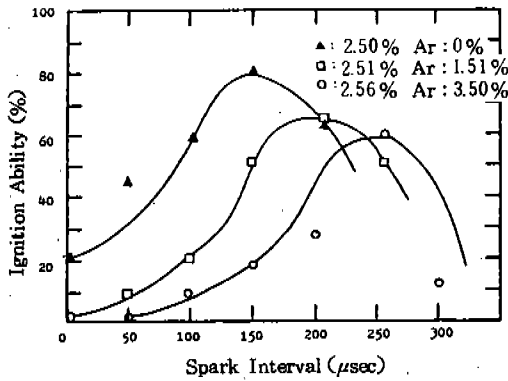


Fig.6 Ignition Ability of Repetitive spark in the Variance of Ar. Addition Ratio & Spark Delay Time Interval
LPG-air mixture, Spark Gap : 2 mm,
Stored Energy : 2×100 mJ

어지는 경향을 알 수 있다. 즉 아르곤 비율이 0%인 2.50% 혼합기에서最適點火遲延時間間隔이 약 $150 \mu\text{s}$ 이고 혼합비 2.51%(Ar: 1.15%)에서는 약 $200 \mu\text{s}$, 그리고 혼합비 2.56%(Ar: 3.50%)에서는 약 $250 \mu\text{s}$ 로 증가함을 보였다. 이는添加劑에 의한 일반적인 경향으로, 불활성기체인 아르곤이反應速度를 늦게 하여 그結果熱發生速度를 줄여서 그結果 Kono 등의 모델에서 유추할 수 있듯이²⁾點火에 요하는 시간이 길어, 따라서最適點火遲延時間間隔이 길어진 것으로 생각된다.

또 아르곤의 비율이 높아질수록 아르곤의 영향으로點火能力이 저하됨을 알 수 있다. 이는最適點火遲延時間間隔이 길어지는 현상에 대한 이유와 같은 이유로說明될 수 있으며 이 때문에 아르곤의 비율이 어느比率(本實驗에서는 2.78%(Ar: 8.90%)) 이상으로 높아지면點火遲延時間間隔의變化에 따른點火能力은 뚜렷한 경향을 보이지 않는다.

4. 結 論

電氣點火를 2回 反復的으로 加하는 反復點火裝置를 使用하여 아세틸렌 燃料과 LPG-Argon 燃料에 對한 反復點火特性을 調査한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 아세틸렌의 경우에도 反復點火方式의 點火能力이 單發點火方式보다 우수하며, 이 경우에도 點火能力을 最大化하는 最適點火遲延時間間隔이 存在하며 이 값은 約 $25 \mu\text{sec}$ 이다.

2) 添加劑로서 Argon을 添加하여 Argon 濃度가 增加할수록 最適點火遲延時間間隔도 增加하는 경향이다.

3) 以上の 結果와 參考文獻(5)의 結果를 綜合하여 보면 使用하는 燃料의 燃燒速度가 빠를수록 最適點火遲延時間間隔은 短縮됨을 알 수 있다. 그러므로 反復點火方式에 있어서의 最適點火遲延時間은 點火가 加해지는 燃料의 化學反應時間과 강한 關聯度가 있다.

<後 記>

本論文은 1982年度~1984年度 韓國科學財團 研究費의 支援에 의하여 수행되었으며 이에 심심한 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. D.R. Ballal and A.H. Lefebvre; "The Influence of Spark Discharge Characteristics on Minimum Ignition Energy in Flowing Gases," Combustion and Flame, Vol.24, pp.99-108, (1975).
2. M. Kono and S. Kumagai; "The Optimum Condition for Ignition of Gases by Composite Spark," 16th Symposium (International) on Combustion, pp.757-766, (1976).
3. M. Kono, S. Kumagai and T. Sakai; "Ignition of Gases by Two Successive Sparks with Reference to Frequency Effect of Capacitance Sparks," Combustion and Flame, Vol.27, pp.85-98, (1976).
4. 吳貞均; "點火條件에 따른 燃燒特性", 서울 大學校 大學院 工學碩士學位論文(1982).

5. Kyung-Kook Cho and In-Seuck Jeung; "Ignition Characteristics of the Repetitive Electric Sparks," Proceedings of the 2nd International Pacific Conference on Automotive Engineering, pp.49-55, also from SAE Technical Paper 830864, (1983).
6. W.C. Gardiner, Jr., W.G. Mallard, K. Morinaga, D.L. Ripley and B.F. Walker; "Shock-Tube Study of Chemiluminescence and Heat Release in the High Temperature Oxidation of Acetylene," 11th Symposium (International) on Combustion, pp.1151-1159, (1967).
7. 水谷幸夫; "燃焼工学", 森北出版株式会社, pp.211~214(1977).
8. J. Warnatz; "The Structure of Laminar Alkane-, Alkene-, and Acetylene Flame," 18th Symposium on Combustion, pp. 369-384, (1981).
9. B. Lewis and G. von Elbe; "Combustion, Flame and Explosion of Gases," Academic Press, pp.310-367, (1961).