

混合氣어큐물레이터를 갖춘 新燃燒室에 關한 研究*

(A Study of a New Combustion Chamber with a Mixture Accumulator)

趙 珍 鎬
(瀋陽大學校 工大)

要 旨

混合氣 어큐물레이터를 附着시킨 燃燒室에 關한 새로운 아이디어를 考案하였다.

“混合氣어큐물레이터室(Mixture Accumulator Chamber; MA Chamber)”로 命名한 이 燃燒室은 點火前 壓縮行程中에 負荷狀態와 關係없이 内部的 強한 氣體亂流를 일으킬 수 있다. 이러한 機関(MA engine)의 性能과 그 特性을 研究하였다. 그 機関의 베이스機関(base engine)에 比하여 機関壓縮比를 增加시킬 수 있고 稀薄混合氣로서 安定燃燒를 시킬 수 있음이 確實하다.

序 論

石油資源이 無限하지 않음을 切實히 느낀 自動車工業界는 燃料效率이 더 좋고 淸靜한 排氣를 排出하는 自動車를 만들지 않을 수 없었다.

有害한 排氣放出物을 低減시키기 위하여는 稀薄混合氣를 使用하는 것이 效果的이라는 것은 잘 알려져 있다. 그러나 稀薄混合氣를 使用하면 混合氣의 燃燒가 느려지고 每사이클마다의 變化, 토오크變動뿐만 아니라 未燃 炭化水素(HC)放出量의 增加를 일으키는 경향이 있다.

이러한 缺點을 없애기 위하여는 그 混合氣의 燃燒速度를 增加시키고 燃燒效率이 좋고 安定된 燃燒가 되게끔 실린더內的 混合氣를 亂流 運動시키는 것이 效果的임이 밝혀져 있다. 실린더 内部

氣體亂流를 活潑히 利用하는 技術들이 이미 開發되어 있다(1)**~(3).

本 報告書는 스파이크 點火機関에 있어서의 그러한 技術에 關한 것이다.

燃燒室에 混合氣 어큐물레이터를 附着 시키는 새로운 아이디어가 考案되었다. “混合氣어큐물레이터室(MA室)”이라고 부르는 이러한 燃燒室은 點火에 앞선 壓縮行程中에 負荷狀態와 無關하게 실린더內氣體的 亂流를 發生시킬 수 있다. 이러한 機関(MA機関)의 性能과 特性을 研究하였다.

그 機関의 機関壓縮比를 베이스機関에 比하여 增加시키고 稀薄混合氣($\phi < 0.7$)로서 安定한 燃燒를 일으킬 수 있는 可能性이 明確하게 밝혀졌다.

MA 機関의 概念

MA機関의 燃燒過程概念은 그림 1에 圖式的으로 나타나 있다.

MA室은 主燃燒室, 連結通路(노즐), 混合氣어큐물레이터, shut valve (이후로는 “MA밸브”로 稱한다)로 構成되어 있다.

燃燒는 다음 過程들에 따라서 이루어진다.

A. 吸入行程: 피스톤이 下向運動함으로써 混合氣가 吸入된다. 高度로 加壓된 混合氣가 MA 內에 貯藏되는데 이 混合氣는 直前사이클의 壓縮行程末에 蓄積된다.

* 本 解說은 1982년 11월 8일부터 11일 사이에 瀋洲 Melbourne에서 開催된 FISITA Congress에서 日本國의 H.Nohira外 2인이 共同研究發表한 論文임.

** 관호안의 숫자는 本 報告書 끝에 있는 參考文獻을 나타낸 것이다.

基礎研究

이러한 새로운 燃燒過程의 效果的인 作動을 確認하기 위하여 몇가지 基礎調査를 하였다. 그림 2에 圖示한 바와 같이 矩形피스톤과 透明側面하우징을 갖는 單실린더機関(side viewing engine)을 製作하였다. 이 side viewing engine의 諸元은 表 1과 같다.

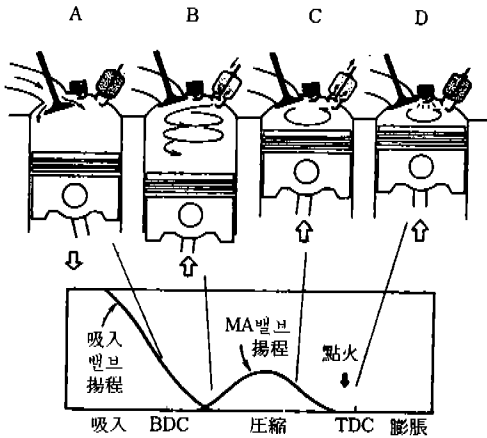


그림 1. MA機関의 概念

B. 初期压缩段階: 피스톤이 上向運動하고 吸入 밸브가 닫히면서 MA밸브가 열려 貯藏된 混合氣가 노즐을 통하여 注入된다.

高速噴流에 의하여 강한 亂流가 發生되어 混合氣는 完全히 混合된다.

C. 終末压缩段階: 피스톤이 上向運動함에 따라서 실린더壓力이 增加하여 混合氣의 一部가 MA에 再蓄積된다.

D. 點火와 火焰傳播: 點火時期 가까이에서 MA밸브가 닫히고 MA內的 混合氣는 다음 사이클을 위하여 貯藏된다.

MA噴流에 의해 發生된 亂流로 인하여 火焰傳播가 加速되고 燃燒가 빨리 완료되어 混合氣를 包含한 稀薄하거나 弱하게 再循環된 排氣下에서 사이클效率이 좋아지고 安定燃燒가 일어나게 된다.

실린더內에서의 이러한 亂流流動 發生 過程은 機関作動負荷에 關係없이 항상 效果的이다. 노즐의 噴流速度는 臨界값이며 그 이유는 MA와 主室間의 壓力差가 노즐에서 臨界條件을 만들기에 充分한 값이기 때문이다. MA機関에서의 燃燒過程은 理論上으로는 사이클效率에 影響을 미치지 않지만 實際條件下에서는 노즐을 통한 混合氣의 流入과 流出이 에너지損失을 일으킨다. 따라서 이 燃燒方法은 燃燒改善과 混合氣의 蓄積損失사이에서 比較選擇의 有効性에 의하여 判定된다.

表 1. 側面透明機関의 諸元

displacement	363cm ³
piston (rectangular)	61×85mm
stroke	70mm
compression ratio	4.3~15
intake valve dia.	29mm
lift	6.5mm
exhaust valve dia.	29mm
lift	6.1mm
valve timing	variable
max. speed	2000 rpm
max. operating time	
motoring	30min
firing	3min

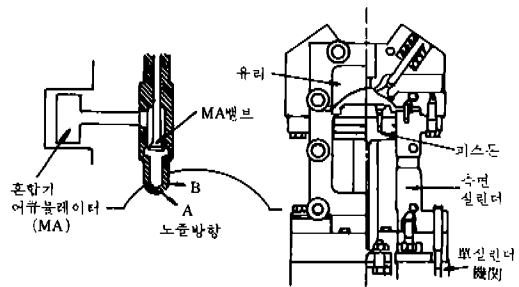


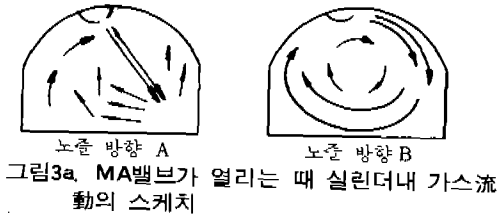
그림 2. 側面透明(Side viewing)機関과 MA 燃燒室의 配置

吸入밸브와 排出밸브는 油壓으로 作動된다.

이 模型機関을 利用함으로써 運轉 狀態中에 색채 슈리렌法(the color Schlieren method)을 使用한 高速寫眞術에 의하여 실린더 內部的의 가스流動을 觀察하였으며 이때 表 2에 나타낸 機関狀態下에서 메타-알데히드를 模寫物質로 使用하였다.

그림 3a는 MA밸브가 열리는 순간에 일어나는 流動패턴을 손으로 스케치한 것을 나타낸다.

노즐方向이 서로 다른 두 경우의 MA室에서의 流動패턴과 非MA室(여기서는 실린더內에서 가



두 경우의 노즐方向 모두다 非-MA 機関에서 보다 火焰의 加速이 더 잘 일어나지만 火焰이 燃燒室 全体에 傳播되는데 걸리는 時間은 노즐이 피스톤헤드方向인 A경우에서 보다 接線方向인

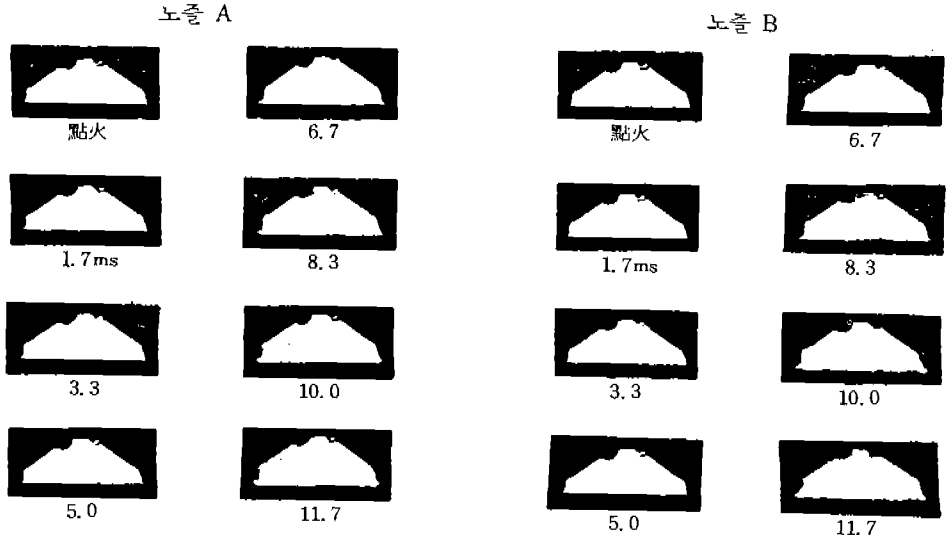


그림3b 火焰傳播寫眞

表2. 그림 3의 試驗條件

engine speed	500 rpm
vol. efficiency	50 %
fuel	propane
air fuel ratio	16 ($\phi=0.97$)
spark timing	MBT
valve timing	
intake open	15° BTDC
close	4° ABDC
exhaust open	10° BBDC
close	18° ATDC
MA valve open	20° ABDC
close	50° BTDC

스流動이 관찰되지 않음)의 流動패턴을 比較해 볼 때 兩 노즐方向 모두에 있어서 強한 亂流가 發生됨이 明確하였다. 노즐方向 B의 경우에 있어서는 燃燒室壁에 接線方向인 旋回流動이 觀察되었다. 火焰傳播寫眞도 撮影하였다.

그림3b는 MA室体積을 主燃燒室体積의 20%로 調節한 경우에 撮影한 寫眞들의 一例이다.

B경우가 확실히 더 짧았다.

이러한 基本的인 概觀을 토대로 考察해 본 結果 MA機関은 실린더내에서 強한 混合氣 亂流를 發生시킬 수 있으며 稀薄混合氣狀態下에서 燃燒를 改善하는 잠재력을 가지고 있음을 確信하였다.

MA를 갖는 機関의 性能과 解析

MA機関에 대하여는 다음 設計 媒介 變數들이 最適化되어야 한다.

밸브開閉時期와 MA밸브의 揚程, 실린더에 관한 노즐사이즈와 그 方向 및 MA体積.

위와 같은 MA機関의 設計媒介變數들에 對하여 詳細하게 檢討된 바 있으며(4), 그러한 調査內容들을 要約하면 다음과 같다.

(1) MA밸브는 吸入給氣流動을 방해하지 않도록 抑制하는 동안 가능한 한 늦게 열려야 하며 火焰이 MA로 들어가는 것을 막을 수 있도록 가능

한 한 일찍 닫혀야만 한다.

(2) MA 밸브의 사이즈와 揚程은 되도록 커야 한다.

(3) 노즐 사이즈와 그 方向은 實驗을 통하여 最適化시켜야 한다.

(4) MA 體積은 最適媒介變數인데 主室體積의 20% 이상인 크기가 適切한 것으로 생각된다.

試驗機閥A에서의 MA의 最適치수는 實驗(表3, 그림 4)을 통하여 決定되었으며 機閥性能이 評價되었다.

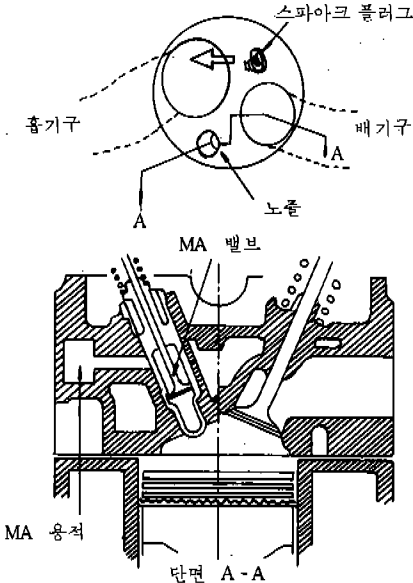


그림 4. 燃燒室概略圖 (機閥 A)

表3. 試驗機閥의 諸元

	engine A
Cyl. nos. and layout	4-inline (OHC)
bore × stroke	84 × 89 mm
displacement	1973 cm ³
valve dia. intake	43 mm
exhaust	38 mm
valve timing IO EC	14 18
IC EO	54 56
MA valve dia.	12 mm
valve timing MAC	20
MAO	50
nozzle	6 mm
volume	22 cm ³

이 機閥에서 400사이클의 指圧器데이터를 使用하고 스파이크 間隙에서 가스流動을 測定함.

로써 燃燒解析을 하였다.

表4. 아이들링 상태중의 Pi의 변화

		Cylinder no.			
		1	2	3	4
base engine	Pi KPa	74.5	65.3	65.2	95.3
	ΔPi %	24	27	24	13
MA engine	Pi KPa	49.2	89.2	78.5	104.2
	ΔPi %	94	27	47	13

engine condition: engine A, 800 rpm, A/F 13

壓縮比가 8.5인 경우에 MA 機閥과 그 베이스 機閥의 WOT 性能을 比較하여 그림 5a에 나타내었다. 그림 5a에 나타나 있는 平均有効壓力曲線들은 正規等級의 가솔린 (RON 91)을 使用할 때 各 機閥의 MBT 또는 트레이스노크 (trace knock) 發生 條件에서 機閥의 스파이크時期에 얻어진 것이다.

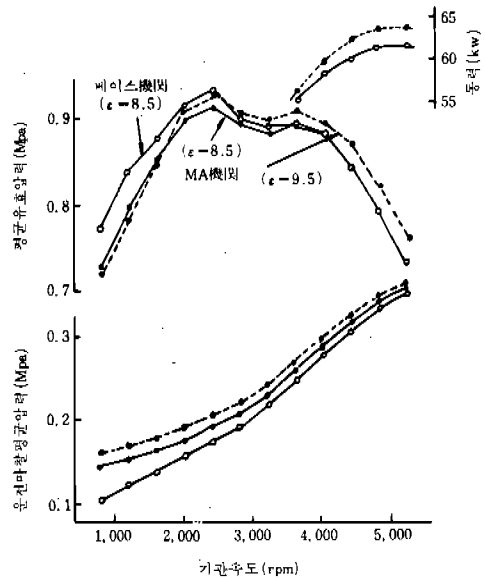


그림 5a. WOT 性能과 運轉摩擦 (A/F = 12.5, MBT)

MA 機閥의 두드러진 點들은 다음과 같다.

(1) 在來式 機閥은 노크發生 때문에 MBT 스파이크 時期를 低機閥速度에서는 定하기가 어려우나 MA 機閥은 可能하다 (그림 5b).

(2) 低機閥速度에서는 出力이 減少하며, 이때 體積效率特性은 베이스 機閥에 比하여 전혀 變하지 않음이 觀察되었다.

(3) 運轉損失動力은 低機閥速度에 더 크다.

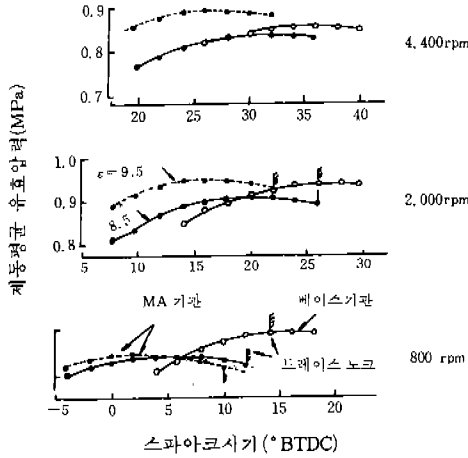


그림5b. 스파아크時期 對 機關토크(WOT)

MBT스파아크時期가 低機關速度에서 設定되어질 수 있고 더구나 그것이 TDC에 近接하다는 事實은 MA로써 發生되는 強한 亂流에 의하여 混合氣의 빠른 燃燒에 기여할 수 있을 것이다. 그러나 노크에 대한 點火時期 許容公差가 MA機關에서 대단히 큰 理由는 充分히 解析되어 있지 않다. 따라서 이러한 면에 대해서 앞으로 더욱 깊이 있게 檢討되어야 할 것이다.

MA機關에서 壓縮比를 增加시킬 수 있는 可能性이 本 實驗에서 提示되었다. 그러므로 機關壓縮比를 1만큼(9.5로)增加시켜 보았으며 이때의 機關性能도 또한 그림 5에 나타내어 놓았다.

壓縮比 9.5인 MA機關의 性能은 低機關速度에서는 크게 變化하지 않지만, 高速性能은 顯著하게 向上되었다(出力이 3% 以上 增加하였음).

本 實驗에서도 모든 速度範圍에서 스파아크時期는 MBT에 設定되었다.

그림5에 나타나 있는 바와 같이 低機關速度中에 WOT토크의 低下는 베이스 機關으로부터 나오는 運轉토크의 增加에 상당한 關聯性을 가지고 있다.

이러한 運轉토크의 增加는 오로지 機械的 摩擦의 增加때문이라고만은 생각되지 않는다. 왜냐하면 機械的 摩擦은 低機關速度에서는 크고 高速에서 減少하기 때문이다. 그러므로 이와 같은 損失은 MA를 갖는 機關에서 特殊한 것이다.

이와같은 特殊한 運轉損失을 增加시키는 原因

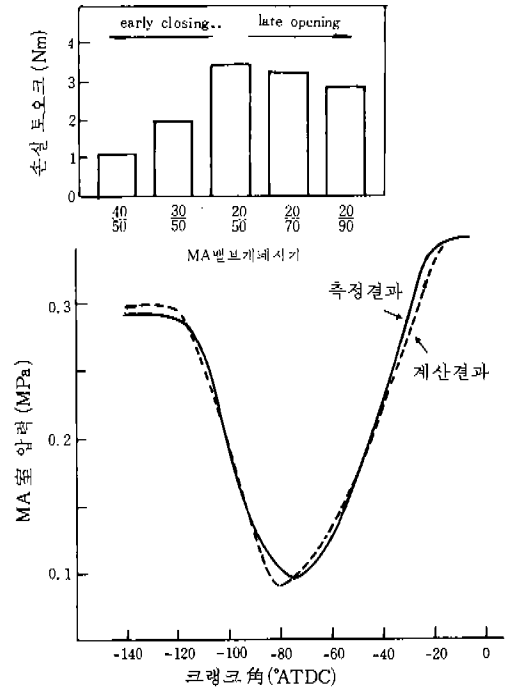


그림6. 混合氣蓄積에 의한 토크 損失 (계산결과)

을 定量的으로 評價하였다. 그림 6은 MA室의 壓力變化를 計算한 結果를 나타낸 것이며 여기에 또한 比較를 위하여 實際로 測定한 壓力曲線을 나타내어 놓았다.

이러한 評價모델을 使用하여 MA로의 流入과 MA로부터의 流出에 의하여 생기는 에너지 損失을 計算하였으며, 그 結果를 그림6에 또한 나타내었다.

그림에 나타나 있는 바와 같이 壓縮行程中에 MA밸브를 일찍 닫는 것이 MA밸브를 遲延시키는 方法으로 여는 것보다 더 効果的이다.

MA體積을 變化시켜서 더 計算해 본 結果, 에너지 損失을 防止하는 데는 작은 MA體積이 바람직함을 알 수 있었다.

이러한 모든 計算結果들은 前述한 바와같이 部分 負荷狀態中的 燃燒改善과 相反된다.

다음에, 部分負荷狀態中的 燃燒改善特性和 低機關速度 토크중에서 나타나는 어느 程度의 WOT性能低下 特性間에 比較選擇을 考慮하여 MA에 대한 設計媒介變數들을 調和(match)시켜야만 한다.

그림 7은 部分負荷狀態의 性能을 나타낸 것이다. MA機關의 稀薄失火限界는 넓게 擴張되며 燃料消費量은 特히 壓縮比가 9.5일 때 改善된다.

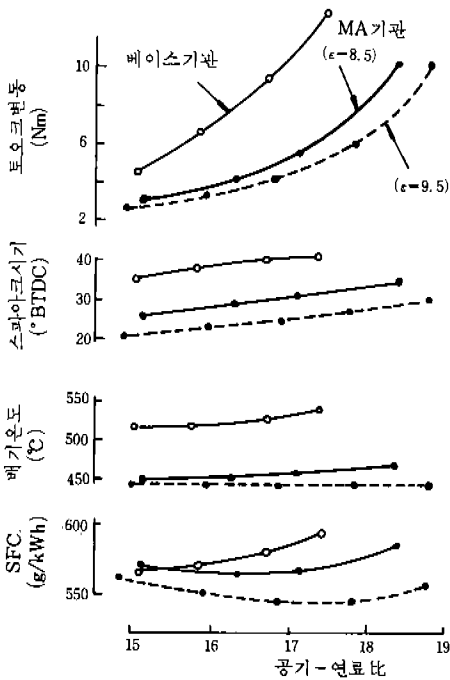


그림7. 部分負荷中の 特性
(1400rpm, 2Nm, MBT)

NO_x 와 CO의 排出特性은 크게 變하지 않았으나 HC는 같은 機關狀態中에 있는 베이스機關의 排出量의 約 2倍만큼 增加하였다. 이것은 주로 改善된 燃燒를 통하여 실현되는 낮은 排氣溫度

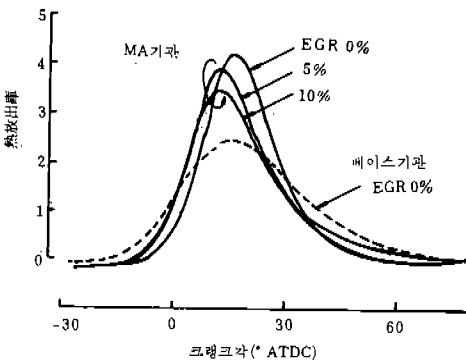


그림8. MA기관 熱放出率
(1400rpm, $\epsilon \sim 9.5$, A/F = 15, MBT, Vol. effi. = 50%)

로 인한 排氣口에서의 酸化反應의 低下로 생기는 結果였다. 보다 큰 負荷와 한층 더 높은 速度狀態 (여기서는 排氣口溫度가 HC酸化에 대하여 필요한 값보다 높다)에서는 두 機關에 대하여 微少한 差가 檢出되었다.

그림 8은 壓縮比가 9.5일 때 400사이클에서 얻어진 그러한 MA機關 指壓器分析의 한 結果이다(5). 이경우에 EGR率(EGR 가스의 質量/新氣 質量)이 變化하였다. MA機關의 熱放出量은 급격하게 增加하고 燃燒가 빠르게 일어났으며 EGR率의 增加에 따른 熱放出率은 큰 變化를 나타내지 않았다.

그림 9는 高速寫眞術로 撮影한 火焰傳播 寫眞이다. 透明피스톤을 통하여 燃燒室 아래로부터 燃燒室中央部의 거의 半을 들여다 볼 수 있도록 하였다(6).

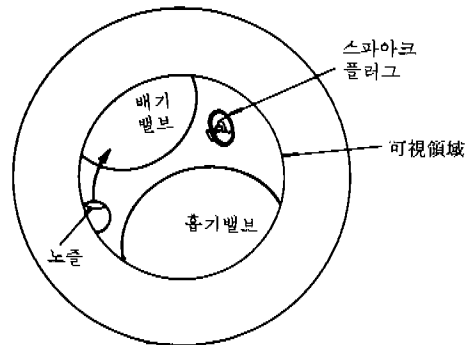
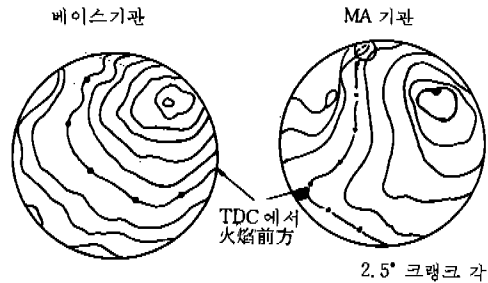


그림9. 火焰傳播特性(그림8과 동일조건)

MA機關에서의 火焰은 베이스機關에서 보다 더 빠르게 傳播하여 旋回流動에 의하여 變形됨이 明白하였다.

스카이크 플러그의 間隙에서의 流動速度를 測定하기 위해 spark discharge法을 使用하였다(7).

流動速度(流動方向은 그림4에 表示되어 있음)은 運轉狀態中에 測定되었다. 試驗結果는 그림 10a에 나타나 있는 바와 같다. 그 流動은 兩機閥에 대한 吸入行程中에 限定的으로 檢出되었다. 壓縮行程中에 베이스機閥에서는 流動이 減衰하였으나, MA機閥에서는 그렇지 않았으며 檢出 frequency는 MA밸브가 열릴 때 급격하게 增加하고 壓縮行程末에서 높은 水準을 유지한다. 이것은 MA에 대하여 旋回類의 流動이 確實히 發生되었다는 證據이다. 더구나 MA밸브가 열릴 때 檢出된 最大流動速度는 35m/s이었고 점점 減少하여 TDC근방에서는 15m/s였으며 이것은 베이스機閥의 速度보다 2倍以上 큰 값이었다.

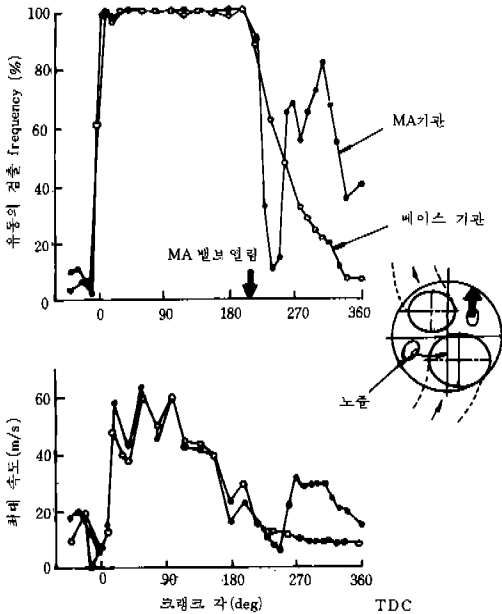


그림10a. 스파이크 間隙에서의 流動速度 (2000rpm, WOT)

아이들狀態(idle condition)中的 流動速度도 또한 測定하였다. 그림 10b는 그 結果를 나타낸 것이다. MA機閥의 경우에 있어서 스파이크時期에 관찰된 가스流動速度는 매우 컸으며 20m/s以上の 速度가 관찰되었다. 따라서 스파이크 時期中에 스파이크 플러그 둘레의 큰 流動速度는 아이들狀態(여기서는 殘留가스分率이 매우 높고 點火가 容易하지 않음) 中에 火焰核의 mis-propagation을 일으키게 될 것이다. 그리고 이것은 아

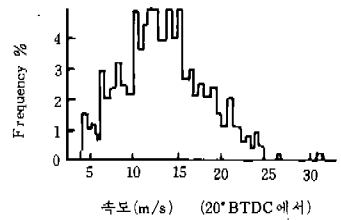
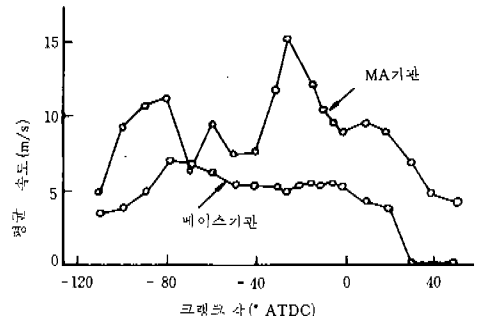


그림10b. 스파이크 間隙에서의 流動速度特性 (아이들링)

이들質(idle quality)을 不良하게 하는 結果를 가져 올 것이다.

部分負荷中에 MA機閥의 性能이 良好한 것과는 反對로 아이들質(idle quality)은 스파이크 間隙에서의 流動解析으로부터 豫想한 대로 그다지 긍정적으로 評價되지 않았다. 아이들 狀態中的 指 壓線圖解析으로부터 表4에 나타낸 바와 같이 4 실린더사이에서 고르지 못한 燃燒安定이 일어나고 있다는 結果를 얻었으며, 여기서 表4는 各 실린더에 대하여 400 사이클을 平均한 平均有效壓力(P)과 그 變動量(ΔP_i)을 表로 作成한 것이다.

MA機閥의 2번째와 4번째 실린더에서 安定燃燒가 수행되었으며, 이 두 실린더가 나머지 두 실린더와 베이스機閥의 실린더들보다 훨씬 빠른 熱放出率을 보였다. 아이들中의 混合氣 分布는 正적으로 立證되었다. 그래서 스파이크 間隙에서의 混合氣亂流는 종종 대단히 강해져서 點火된 火焰核의 mis-propagation을 發生시키게 되는 것으로 생각되었다. 이러한 狀態를 改善하기 위하여, 스파이크에너지를 13mj로부터 約 50mj까지 增加시켰더니 상당히 效果의이었다.

아이들質(idle quality)을 改善하기 위한 노력이 시도되고 있다.

結 論

混合기어큐뮬레이터室(MA Chamber)을 갖춘
燃焼室에 관한 새로운 概念이 考案되었으며 그
特性이 評價되었다.

다음과 같은 結果들이 밝혀졌다.

- (1) MA機関은 어떤 負荷狀態에도 關係없이 圧縮行程中에 燃焼室內에서 強한 亂流를 發生시킬 수 있다.
- (2) MA機関을 最適化하기 위하여는 燃焼 改善과 MA의 流出入 가스 流動에 너지損失에 대한 比較 選擇評價를 통하여 混合기 어큐뮬레이터의 設計 媒介變數들의 서로 調和되는 組合을 찾는 것(match시키는 것)이 필요하다.
- (3) MA機関은 機関壓縮比를 增加시킬 수 있으며 그것의 部分負荷性能을 改善시킨다.
WOT 性能이 改善된다. 그러나 상당한 低機関速度性能의 低下가 수반된다.
- (4) 아이들質을 더욱 改善하기 위한 노력에 필요하다.

參 考 文 獻

1. M. Noguchi, S. Sanda, et al : Development of Toyota Lean Burn Engine. SAE 760759
2. H. Nakamura, T. Ohinouye : Development of a New Combustion System(MCA-Jet) in Gasoline Engine. SAE 780007
3. K. Tanaka, K. Kobayashi, et al : Combustion Improvement Technque in Mazda Engine. VDI Berichte nr. 370, 1980. p.189
4. H. Nohira, S. Ito, et al : Study of New Combustion Chamber with Mixture Accumulator. The Toyota Engrg., Vol. 30, No.2, 1980, p. 122
5. S. Sanda, T. Toda, et al : Statistical Analysis of Pressure Indicator Data of an Internal Combustion Engine. SAE 770882
6. T. Toda, M. Takizawa, et al : Development of Transparent piston Engine for Engine Combustion Research. JSAE Journal, Vol. 35, No. 11, 1981. p. 1314
7. S. Ohigashi, Y. Hamamoto, et al : Statistical Method Evaluating Fluctuation of Engine Performance. FISITA, A7 June 1966