

<論 文>

空氣밸브型 脈動燃燒器의 動的 特性에 관한 實驗的 研究

林 光 烈* · 崔 炳 翰** · 吳 相 憲**

(1987年 7月 15日 接受)

An Experimental Study on the Dynamic Behavior in an Aero-Valved Pulsating Combustor

Kwang Ryoul Lim, Byoung Ryun Choi and Sang Heun Oh

Key Words: Equivalence Ratio(當量比), Pressure Oscillation(壓力脈動), Operating Frequency(作動周波數), Turn Down Ratio(턴다운비), Thrust(推力)

Abstract

The experimental study was carried out to investigate the performance characteristics of the aero-valved pulsating combustor designed to increase the practical applications of the system.

The geometric effect on the stable condition and the dynamic behavior of the system is identified. The equivalence ratio, the inflammability limit, the operating frequency, and thrust were also measured when the system oscillated stably. It is found that while the operating condition is sensitive to the diameter of the inlet pipe and the length of the tailpipe, the maximum value of the turn down ratio was obtained up to 3.2. The measured air flow rate shows that the equivalence ratio increases monotonously with the increasing fuel flow rate and decreasing air inlet diameter and tailpipe length. The measured operating frequency can be approximated by the simple linear equation and the discrepancy is within five percent. The system produced the maximum total thrust of 14N and the minimum specific fuel consumption of 0.155 Nm³/h.N when the total thrust was 13N.

1. 序 論

脈動燃燒器는 産業用 및 家庭用 熱機器로서 그 經濟性, 콤팩트한 構造, 低公害性等의 特徵과 應用的 可能範圍가 넓다는 새로운 認識으로 인해 最近 많은 관심과 함께 研究가 활발해지고 있다.

그러나 지금까지 實用化 및 大部分의 研究結果가 機械的 밸브型에 치중되어 왔는데^{(1)~(6)} 그 理由는 空氣 밸브型은 燃燒가스의 逆流를 完全히 防止할 수 없으며, 밸브型보다도 幾何學的 形狀變化에 더욱 敏感할뿐만 아니라 安定된 發振을 얻기 어렵기 때문이다. 그러나 可動部가 없다는 最大의 長點을 가지고 있기 때문에 空氣流入管을 통한 燃燒가스의 逆流를 防止 또는 利用할 수 있도록 하고 安定된 發振이 쉽게 얻어지는 幾何學的 形狀에 관한 研究가 계속된다면 實用的 可能性은

* 正會員, 釜山大學校 大學院

** 正會員, 釜山大學校 工科學 機械工學科

총분하다.

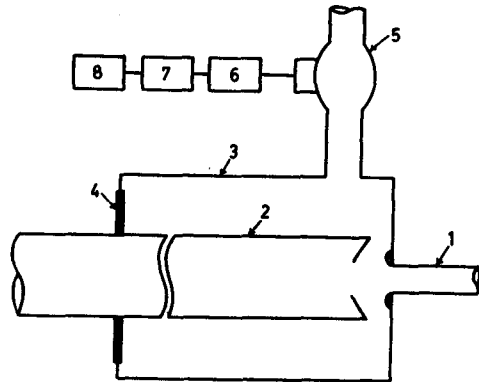
空氣벤브型에 關한 最近의 研究動向을 보면, Muller⁽⁹⁾가 穀類乾燥에의 應用에 關해서, Kentfield⁽¹⁰⁻¹¹⁾ 등이 가스터어빈用 燃焼器 및 豫熱器로써의 利用에 關해서, Rehman⁽¹²⁾이 推力性能에 關한 最適化에 關해서 研究하는 등 應用的 側面의 研究가 一部 있을 뿐 燃焼器의 作動原理 및 性能特性에 關한 基本的 理解 및 豫測을 위한 基礎研究가 대단히 부족한 형편이다. 最近 著者들⁽¹³⁾은 本 燃焼器에 關한 全般的 特性에 對해서 一部의 研究를 했다.

本 研究에서는 實用的 設計 및 理論解析에 必要한 動的 舉動에 關한 現象料 및 基礎資料를 提供하기 위해, 幾何學的 形狀變化에 따른 脈動燃焼의 安定性 및 吸入 空氣量의 測定을 통한 當量比의 範圍를 觀察하고, 燃焼室과 排氣管, 空氣流入管, 燃料노즐室에서의 壓力을 各各 同時測定해서 動的 舉動에 關해 考察하고, 作動周波數에 關한 간단한 實驗式의 確立과 推力性能에 關한 實驗을 行했다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

Fig.1은 本 研究를 위해 製作된 實驗裝置圖를 나타낸다. 本體는 실린더形의 空氣流入管과 燃焼室, 縮小管形의 燃焼後尾室, 실린더形의 길이調節排氣管 및 確大管形의 排氣管으로 構成되고, 여기에 燃料供給裝置, 點火用 스파이크플러그, 始動用送風機가 設置되어 있다. 燃料은 一般家庭用 프로판가스를 使用하였다.

空氣벤브型 脈動燃焼器에서 幾何學的 形狀變化에 대한 安定性 및 性能豫測을 위한 體系의 理論이 아직 定立되지 않았다. 이런 狀況에서는 實驗的인 反復過程이 必要하다. 脈動燃焼에 影響을 미치는 因子는 대단히 많지만, 本 研究에서는 空氣流入管의 直徑, 排氣管



1. AIR INLET PIPE 2. BACK FLOW GUIDER 3. SURGE TANK 4. RUBBER PLATE 5. LAMINAR AIR FLOW METER 6. DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSDUCER 7. " " " " " " " " 8. X-Y RECORDER

Fig. 2 Input air measuring system

의 목直徑 및 길이의 變化에 따른 脈動燃焼의 安定性 및 可燃限界를 反復實驗에 의해 定했다. 단 燃料噴射 노즐은 前 研究⁽¹³⁾를 통해 最適條件으로 판단되는 노즐數: 4個, 노즐直徑: 1.2mm, 燃料噴射角: 30°를 選擇하였다.

實驗方法은, 스파이크 플러그 및 送風機를 作動시킨

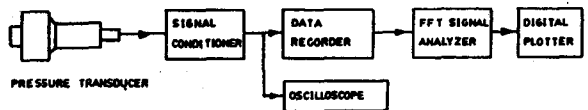


Fig. 3 Pressure fluctuation measuring system

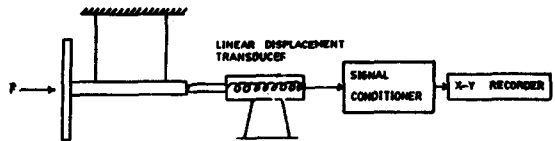
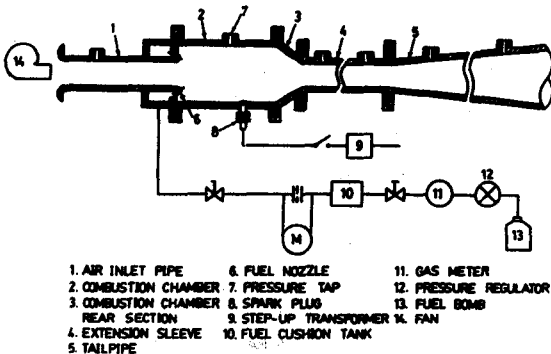


Fig. 4 Schematic diagram of a thrust meter

후, 燃料을 噴射노즐을 통해 燃焼室內로 供給하면 爆發燃焼와 함께 發振이 始作되고, 오실로스코우프를 통해 定常的인 發振이 確認되면 스파이크 및 送風機의 構動을 정지시키고, 數分後 測定을 行하였다.

空氣벤브型 脈動燃焼器의 流入空氣量은 空氣流入管을 통한 燃焼가스의 逆流때문에 지금까지 測定結果가 없으며, 排氣管 및 空氣流入管을 통한 排氣가스分析에 의해 간접적으로 流入空氣量을 推定할 수 있으나, 이 方法은 번거로운뿐만 아니라 信賴度에도 問題가 있다. 本 研究에서는 간단한 裝置를 考案하여 時間平均的인 流入空氣量을 測定하였다.



1. AIR INLET PIPE 2. COMBUSTION CHAMBER 3. COMBUSTION CHAMBER & SPARK PLUG REAR SECTION 4. EXTENSION SLEEVE 5. TAIL PIPE 6. FUEL NOZZLE 7. PRESSURE TAP 9. STEP-UP TRANSFORMER 10. FUEL CUSHION TANK 11. GAS METER 12. PRESSURE REGULATOR 13. FUEL BOMB 14. FAN

Fig. 1 Experimental apparatus

Fig. 2는 流入空氣량을 測定하기 위한 裝置圖이다. 空氣流入관을 통한 燃燒가스의 逆流로 逆流案内管(直徑 72.3mm, 길이: 1,000mm)을 통해 大氣로 放出되도록 했으며, 서어지탱크(높이: 300mm, 幅: 300mm, 길이: 75mm)는 燃燒器本體와 空氣測定流路와의 音響學的 分離와 空氣流動의 脈動을 줄이는 役割을 한다. 流入空氣량의 測定에는 層流流量計를 使用하였다.

Fig. 3은 壓力脈動의 測定系統圖을 나타낸다. 脈動 壓力는 스트레인게이지形 壓力센서(水冷式)에 의해 受領되고, 이 信號를 시그날콘디셔너로 增幅시켜 오실로스코프로 信號를 觀察하면서 데이터記錄計에 記錄시킨 후 FFT 信號分析計로 分析한 結果를 디지털플로터에 의해 記錄시켰다.

Fig. 4는 時間平均推力의 測定系統圖을 나타낸다. 推力를 받는 판은 한번의 길이가 300mm, 두께가 5mm인 스테인레스판이며, 이 판을 지탱하는 棒은 한번의 피어노선에 의해 配달려있고, 變位量이 線型變位變換器에 의해 電壓으로 變換되고 이 信號를 시그날콘디셔너로 增幅시켜 X-Y 記錄計에 의해 記錄시켰다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 幾何學的 形狀에 대한 脈動燃燒의 安定性

Table 1은 本 燃燒器의 幾何學的 形狀變化에 따른 脈動燃燒의 安定性 및 可燃限界를 나타낸다.

空氣流入管直徑(DI)의 影響을 보면, 直徑이 20mm(A-形)일때 不安定한 脈動燃燒가 發生했고, 直徑이 22~28mm(B,C,D-形)일때는 安定된 脈動燃燒가 일어났으며, 燃燒室의 壓力脈動幅이 30~80KPa로써 高壓力脈動特性을 갖고 있다. 直徑이 35mm(F-形)에서는 약간 不安定한 低壓力脈動特性(燃燒室의 壓力脈動幅이 20KPa 以下)을 갖고 있으며, 直徑이 31mm(E-形)일때는 高低壓力脈動特性이 不規則的으로 混合되어 나타나는 不安定한 脈動燃燒가 發生했다. 이처럼 空氣流入管徑은 脈動燃燒의 安定性 및 脈動特性에 敏感한 影響을 미치고 있음을 알 수 있다.

排氣管直徑(DT)의 影響을 보면, 直徑이 20mm(G-形)일때는 脈動燃燒가 發生하지 않았으며, 直徑이 25~35mm(H,I-形)일때는 安定된 脈動燃燒가 일어났으며, 脈動特性에 미치는 影響은 比較的 작다.

排氣管길이(LT)는 排氣管의 出口斷面積의 影響을 없애기 위해 確大管形 排氣管의 形狀 및 길이(LT2)는 一定으로 하고, 길이調節用排氣管의 길이(LT1)를 變化시켰다. 排氣管길이의 影響을 보면, LT1=90mm(K-

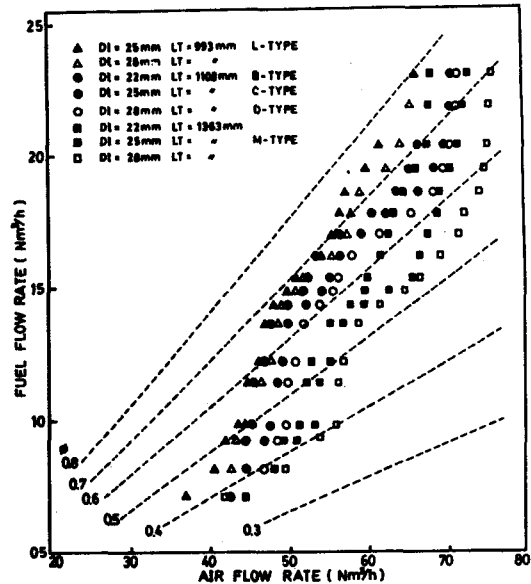


Fig. 5 Fuel flow rate versus air flow rate

形)일때 약간 不安定한 脈動燃燒가 發生하다가 LT1=65mm(J-形)일때는 不安定한 脈動燃燒가 發生했다. LT1=180~550mm(C,L,M-形)일때 安定된 脈動燃燒가 일어났으며, LT1=845mm(N-形)에서 약간 不安定해지기 시작하여 LT1=1108mm(O-形)일때 不安定한 脈動燃燒가 發生했다. 또한 위에 列擧된 安定된 脈動燃燒가 일어나는 形狀에 대한 턴다운비(turn down ratio: 安定된 脈動燃燒가 일어나는 最大 및 最小供給燃料量의 比)는 2.2~3.2로써 比較的 可燃範圍가 넓은 特性을 갖고 있다.

反面, 排氣管의 形狀을 直徑이 一定하게 했을때(P,Q-形), 安定된 脈動燃燒는 일어지지만 턴다운비가 1.2程

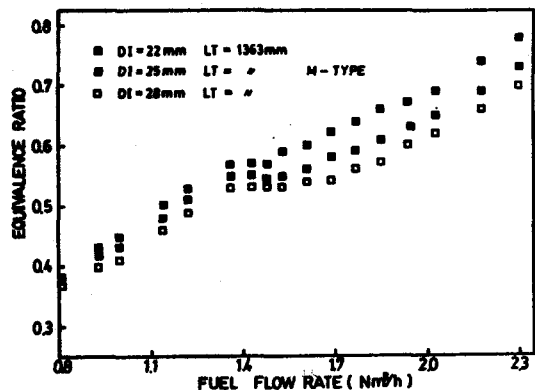


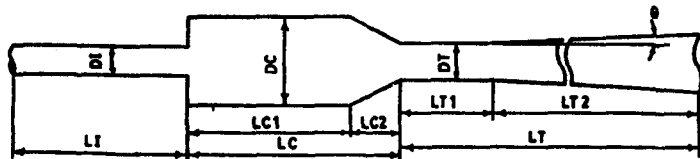
Fig. 6 Fuel flow rate versus equivalence ratio

Table 1 Flammability for an aero-valvad pulsating combustor

Geometric conditions (Unit:mm)	Combustor type	Flammability limit			Comments	
		Lower limit F.F.R. (Nm ³ /h)	Upper limit F.F.R. (Nm ³ /h)	T.D.R.		
DT=30 LT1=295 LT2=813 θ=1.33°	DI=20	A			Unstable	
	DI=22	B	0.93	2.03	2.2	Stable
	DI=25	C	0.71	2.30	3.2	Stable
	DI=28	D	0.81	2.30	2.8	Stable
	DI=31	E				Unstable
	DI=35	F				Slightly unstable
DI=25 LT1=295 LT2=813 θ=1.33°	DT=20	G			No combustion	
	DT=25	H	0.71	2.30	3.2	Stable
	DT=30	C	0.71	2.30	3.2	Stable
	DT=35	I	0.71	2.30	3.2	Stable
DI=25 DT=30 LT2=813 θ=1.33°	LT1=65	J			Unstable	
	LT1=90	K			Slightly unstable	
	LT1=180	L	0.71	2.03	2.9	Stable
	LT1=295	C	0.71	2.30	3.2	Stable
	LT1=550	M	0.71	2.30	3.2	Stable
	LT1=845	N				Slightly unstable
DI=25 LT=1108 θ=0°	DT=30	P	0.81	1.0	1.2	Stable
	DT=35	Q	0.81	1.0	1.2	Stable

* Fixed conditions:DC=72.3mm, LC1=127mm, LC2=38mm, LI=140mm

* F.F.R. : Fuel flow rate, T.D.R. : Turn down ratio(=Upper limit F.F.R./Lower limit F.F.R.)



度로 可燃範圍가 대단히 좁을뿐만 아니라 燃焼負荷도 대단히 작기 때문에 이런 形狀은 實用的 側面에서 利用가치가 적다고 할 수 있다.

Table 2는 空氣밸브型 脈動燃焼器의 重要한 幾何學的 無次元數에 대해 다른 研究者들의 結果⁽¹²⁾와 本 實驗結果를 比較한 것이다. 여기서 本 實驗結果의 判호

내의 數値는 가장 우수한 性能을 갖는 形狀에 대한 數値이다.

3.2 當量比의 特性

Fig. 5는 여러 形狀에 대해 可燃限界내에서 供給燃料量과 流入空氣量의 關係 및 當量比範圍를 나타낸다.

Table 2 Important geometric parameters of the aero-valved pulsating combustors

Combustors	Total length	Total length	Total length	Inlet area ratio(%)	Slenderness ratio
	Inlet length	C.C. length	Tailpipe length		
Hiller (single inlet)	9.25	6.9	1.34	22.4	16.8
Pornsiriponse (single inlet)	11.20	7.0	1.30	14.0	19.5
Fernando (four inlet)	7.95	6.89	1.37	13.4	11.9
Sadig (four inlet)	7.80	6.6	1.39	21.0	14.9
Rehman (four inlet)	7.4	6.2	1.41	22.9	10.0-14.6
Author (single inlet)	8.63-14.02 (10.09)	7.32-11.90 (8.56)	1.18-1.34 (1.28)	9.3-23.4 (12.0)	16.7-27.2 (19.5)

*C.C. : Combustion chamber, *Inlet area ratio=Inlet area/C.C. area
 *Slenderness ratio=Total combustor length/C.C. diameter

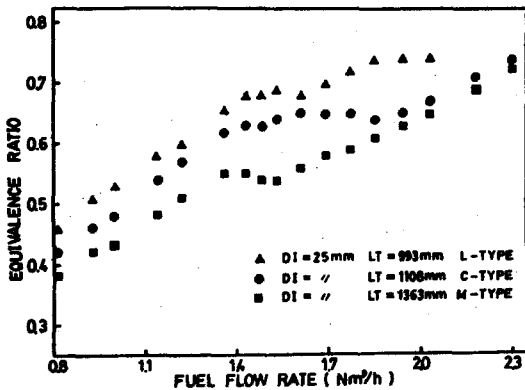


Fig. 7 Fuel flow rate versus equivalence ratio

點線은 等當量比線이다. 모든 形狀에 대해 供給燃料量이 增加함에 따라 流入空氣量과 當量比는 대체로 增加하는 傾向을 보이며, 當量比의 範圍는 0.37~0.8로써 대단히 稀薄한 混合條件을 갖는듯이 보이지만, 本燃燒現象이 燃料과 空氣의 擴散 및 混合過程에 의해 制御되는 擴散燃燒特性에 가장기 때문에 (13) 理想的인 燃燒을 얻기 위해서는 充分的인 空氣가 必要하다고 본다.

Fig. 6은 空氣流入管徑 및 燃料量에 대한 當量比의 變化를 나타낸다. 當量比는 供給燃料量에 따라 거의 單調增加하고 있으며, 空氣流入管徑이 작을수록 增加

한다.

Fig. 7은 排氣管길이 및 燃料量에 대한 當量比의 變化를 나타낸다. 排氣管길이 가 길어질수록 當量比가 減少하고 있는데, 이는 排氣管 길이 가 길어질수록 脈動燃燒週期가 길어지고 따라서 負壓이 차지하는 時間比率가 增加하기 때문으로 보인다.

3.3 動的 特性

Fig. 8은 空氣流入管徑 및 燃料量에 따른 燃燒室의

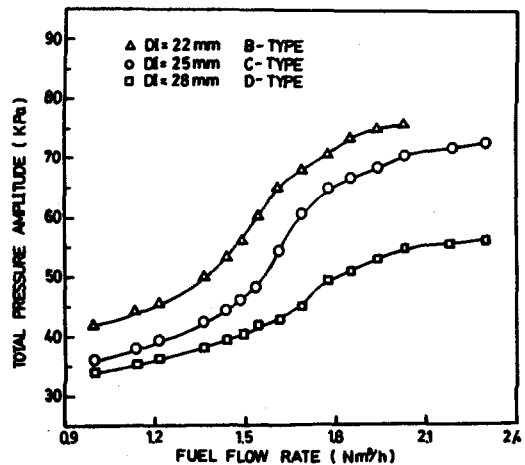


Fig. 8 Total pressure amplitude inside combustion chamber

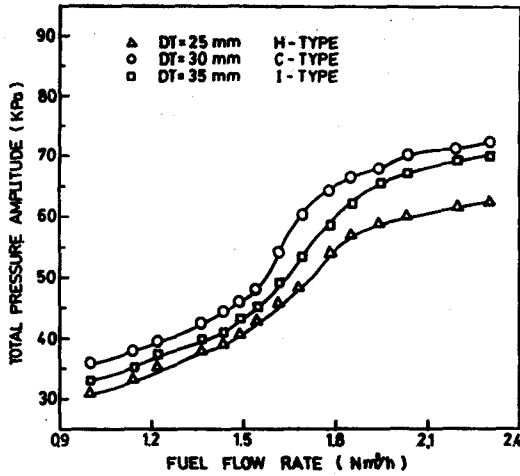


Fig. 9 Total pressure amplitude inside combustion chamber

總壓力脈動幅의 變化를 나타낸다. 燃料量의 增加에 따라 壓力脈動幅은 서서히 增加하다가 급격히 增加하는 條件을 지나서 다시 서서히 增加하는 傾向을 보이고 있으며, 空氣流入管徑이 작아질수록 增加하고 있다. 全體範圍에서의 壓力脈動幅의 크기는 30~80Kpa 程度로써 高壓力脈動特性을 갖고 있다.

Fig. 9는 排氣管口直徑 및 燃料量에 따른 壓力脈動幅의 變化를 나타낸다. 變化樣相은 Fig.8과 비슷하며 口直徑이 30mm 일때 壓力脈動幅이 가장 크게 나타나고 있다.

Fig. 10은 排氣管길이와 燃料量에 따른 壓力脈動幅의 變化를 나타낸다. 排氣管 길이와 減少할수록 壓力

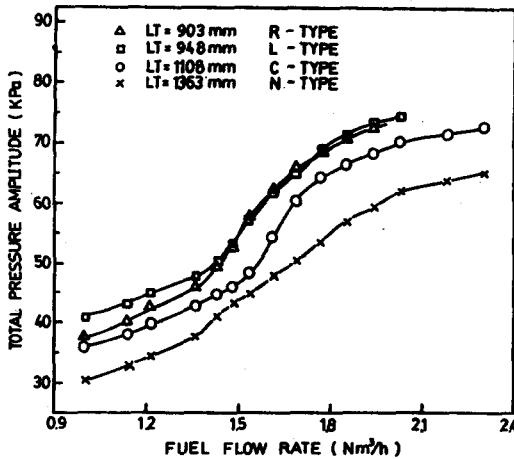


Fig. 10 Total pressure amplitude inside combustion chamber

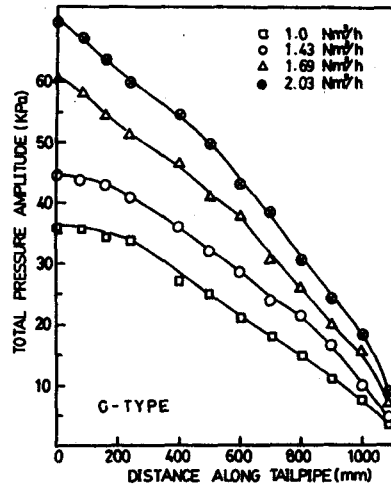


Fig. 11 Distribution of total pressure amplitude along tailpipe

脈動幅은 增加하고 있지만, 길이가 948mm 以下에서는 始動이 대단히 힘들었다.

Fig. 11은 여러 燃料量條件에 대해 排氣管에서의 位置에 따른 壓力脈動幅의 分布를 나타낸다. 壓力脈動幅은 燃焼室로부터 排氣管出口로 갈수록 점차 減少하다가 出口에서 最小值를 갖는다.

Fig. 12는 여러 形狀들에 대한 燃焼室의 壓力脈動모우드를 나타낸다. (A)는 C-形에 대한 壓力脈動모우드인데 燃料量에 관계없이 振幅과 週期가 一定한 振動모

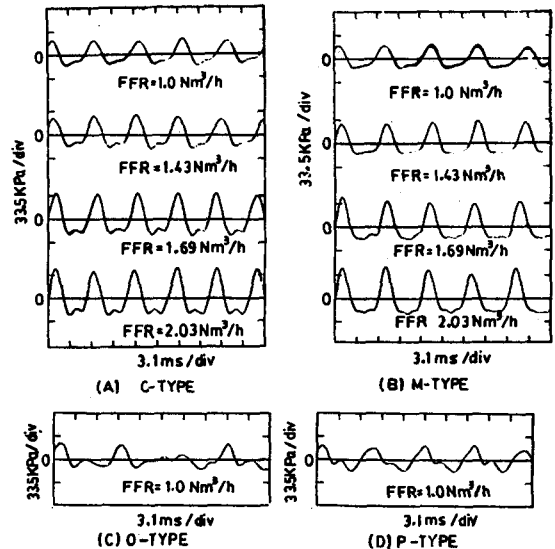


Fig. 12 Mode of pressure oscillation inside combustion chamber

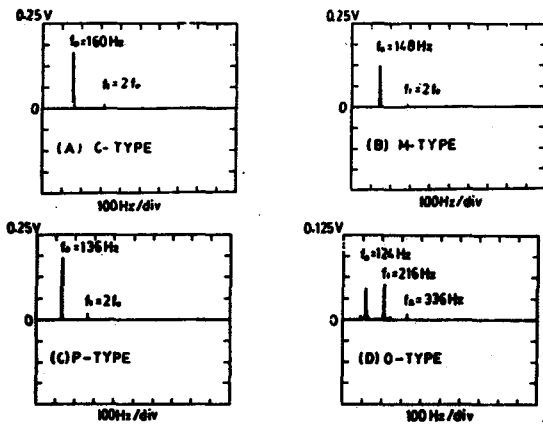


Fig. 13 Frequency spectra of combustion chamber pressure (F.F.R. = 1.0 Nm²/h)

우드를 갖고 있지만 正弦波와는 다소 다르며, 燃料量이 增加함에 따라 振幅과 作動周波數도 增加하고 있다. (B)는 (A)보다 排氣管길이 가 긴 形狀(M-形)인데 脈動特性은 (A)와 비슷하지만, 같은 燃料量條件에서 (A)보다 振幅과 作動周波數가 작음을 알 수 있다. (C)는 排氣管길이 가 제일 긴 形狀(O-形)인데, 壓力脈動의 振幅과 週期가 不規則的으로 변하고 있으며 이로부터 不安定한 脈動燃焼가 發生함을 알 수 있다. (D)는 실린더形의 排氣管形狀(P-形)인데 脈動모우드가 (A), (B)와는 다른 特性을 가지고 있으며, 壓力이 最大値에서 最小値로 減少하는 過程에서 새로운 微小脈大値가 생기고 있으며 헬름홀츠型 燃焼器의 特定形狀에 대한 脈動特性⁽⁷⁾에 가깝다.

Fig. 13은 Fig. 12의 形狀들의 壓力脈動에 對應되는 周波數分析 結果이다. (A), (B), (C)의 경우 基本作動周波數(f_c)에서 第1 피크가 생기고, 第1 피크보다 훨씬 작은 第2 피크가 調和周波數($f_s = 2f_c$)에서 생기고 있으며 安定된 脈動燃焼가 얻어지는 形狀은 이와 비슷한 特性을 갖고 있다. (D)는 不安定한 脈動燃焼가 發生하는 경우로써 調和周波數特性을 갖고 있지 않음을 알 수 있다.

Fig. 14는 排氣管의 位置에 따른 壓力脈動모우드를 나타낸다. 燃焼室에서 排氣管出口로 감에 따라 壓力의 最大値가 漸次減少되면서 2個로 分離되어 나타나는 特異한 現象을 보여준다.

Fig. 15는 燃焼室과 空氣流入管에서의 壓力를 同時測定한 結果이다. 空氣流入管의 壓力의 最大値는 燃焼室의 壓力의 最大値보다 一定한 時間遲延後에 생기며, 空氣流入管에서 1 사이클當 負壓이 차지하는 時間比率

이 65%程度로 正壓이 차지하는 時間比率보다 훨씬 크다는 事實을 알 수 있다.

Fig. 16은 燃焼室의 壓力(C.C.P.)과 燃料노즐室의 壓力(F.N.P.)을 同時測定한 一例인데, 燃焼室의 壓力上昇에 의해 週期的으로 燃料供給이 遮斷되는 自動밸브 役割이 이루어지고 있음을 確認할 수 있으며, 1 사이

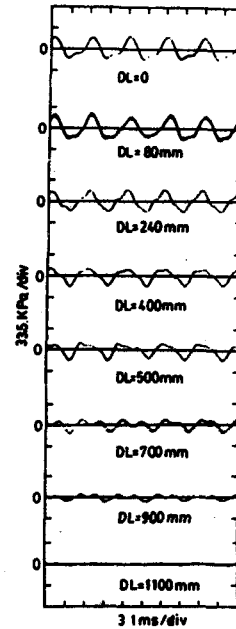


Fig. 14 Mode of pressure oscillation with position along tailpipe (C-type, F.F.R. = 1.0 Nm²/h)

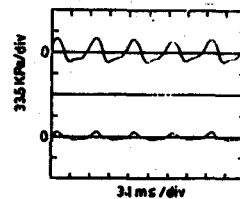


Fig. 15 Mode of pressure oscillation inside combustion chamber and inlet pipe (C-type, F.F.R. = 1.0 Nm²/h)

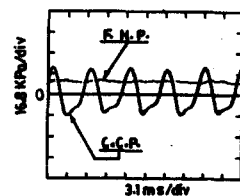


Fig. 16 Mode of pressure oscillation inside combustion chamber and fuel nozzle chamber (C-type, F.F.R. = 1.0 Nm²/h)

適當 燃料遮斷比率은 30%程度였다.

Fig. 17은 燃焼室의 壓力이 最大일때를 0 millisec 로 設定하고, 1사이클에 있어서 時間經過에 따른 燃焼器 全體의 軸方向의 壓力分布를 作成한 그림이다. 壓力測定은 燃焼室에서 1個, 排氣管에서 11個, 空氣流入管에서 1個所이다. 이 그림을 보면, 0~1.22 millisec 사이에서는 燃焼器 全體壓力이 正壓分布를 갖고 있고, 燃焼室로부터 空氣流入管 및 排氣管으로 膨脹過程이 일어나고 있다. 1.83~3.05 millisec 사이에서는 燃焼器 全體가 負壓을 形成하고 있고 排氣管에서는 계속적인 脹膨이 일어나고 있는 反面 空氣流入管에서는 2.44millisec

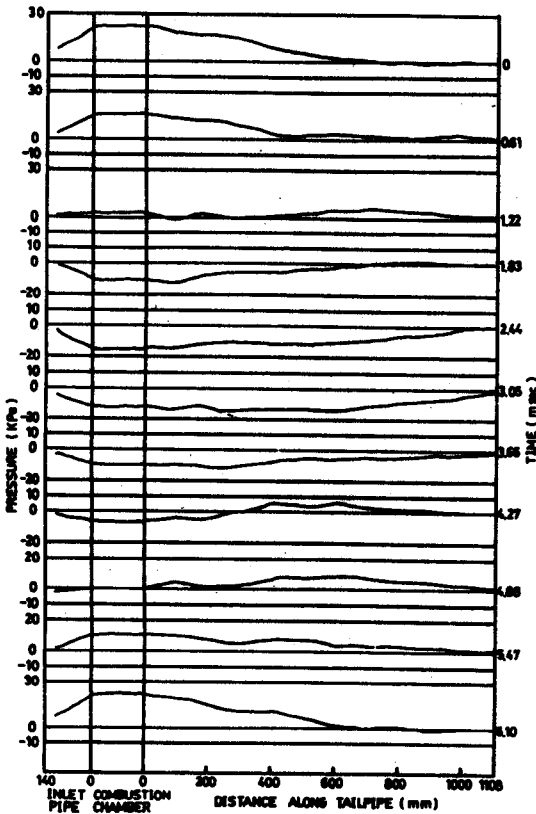


Fig. 17 Pressure distribution along longitudinal position of combustor with time(C-type, F.F.R.=1.0Nm³/h)

에서 燃焼室로의 空氣의 流入이 始作되고 있다. 3.05~4.88millisec 사이에서는 燃焼室로의 空氣流入過程이며, 排氣管을 통해서도 一部の 空氣가 流入되는 것으로 볼 수 있다. 4.27 millisec에서 點火가 이루어지기 始作해서, 4.88~6.10 millisec 사이는 爆發壓縮過程이 일어나고 있음을 알 수 있다.

3.4 作動周波數

空氣膜型 脈動燃焼器的 作動周波數는 1/4波의 共振周波數의 式에 의해 近似值를 豫測⁽¹³⁾할 수 있으나, 이 式에 의한 計算에서는 排氣管에서의 燃焼가스의 平均溫度가 計測되어야 할뿐만 아니라 誤差도 대단히 크므로 問題가 많다.

그래서 간단한 實驗式에 의해 作動周波數를 豫測할 수 있다면 實用的 初期設計段階에서 效率的으로 利用될 수 있을 것이다.

Fig. 18은 本 燃焼器의 作動周波數를 排氣管의 函數로 總定理한 그림이다. 이 그림에서 type-1은 高壓力 脈動特性, type-2는 低壓力 脈動特性의 形狀을 나타낸

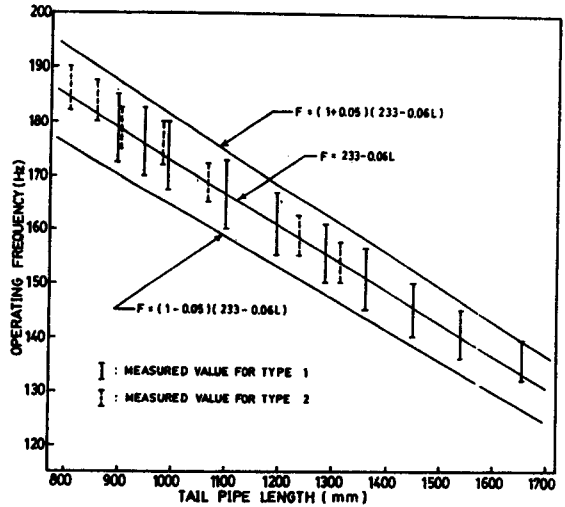


Fig. 18 Operating frequency range

다. 排氣管길이가 같을지라도 그 以外의 幾何學的 形狀值數 및 燃焼負荷 등에 따라 作動周波數는 달라지므로 各排氣管길이에 대해 作動周波數가 變化될 수 있는 範圍로 表示했다. 그림에서 作動周波數는 排氣管길이에 反比例하는 特性을 가지고 있으므로, 이런 結果로부터 本 燃焼器 形狀의 作動周波數는 간단한 實驗式 $F=233-0.06L$ 에 의해 $\pm 5\%$ 誤差以內로 豫測할 수 있다고 본다. 위식에서 F 는 作動周波數(Hz), L 은 排氣管길이(mm)를 나타낸다.

3.5 推力性能

Fig. 19는 C-形的 燃焼器에 대한 推力性能의 結果이다. 總推力은 空氣流入管과 排氣管에서의 推力을 合한 값이며, 總推力에 대한 空氣流入管에서의 推力比率은 20~25% 程度이며, 最大總推力은 14N 程度가 얻어졌다.

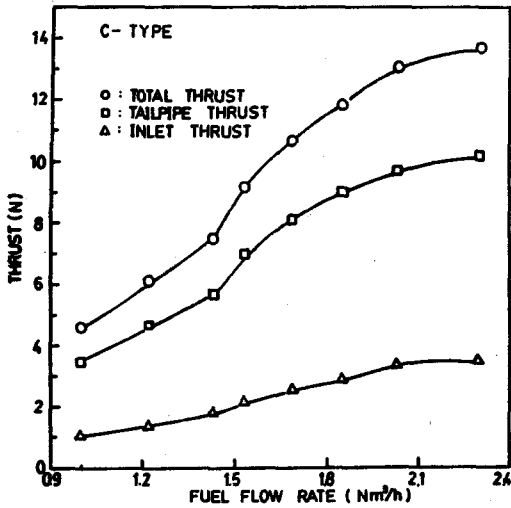


Fig. 19 Thrust versus fuel flow rate

Fig. 20은 比燃料消費率(單位發生推力當 消費되는 燃料量)과 總推力과의 관계를 나타낸다. 比燃料消費率は 推力가 增加함에 따라 減少하다가, 推力가 13N 부근에서 最小值(≒0.155Nm³/h.N)로 되었다가 다시 增加하는 傾向을 보이고 있다.

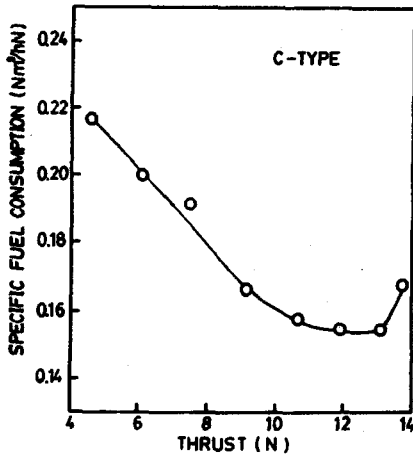


Fig. 20 Total thrust versus specific fuel consumption

4. 結 論

空氣 펄스형 脈動燃焼器의 幾何學的 形狀變化에 따른 脈動燃焼의 安定性, 當量比範圍, 作動周波數, 燃焼器全體에서의 壓力脈動 및 推力性能에 관한 實驗結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 幾何學的 形狀變化에 따른 安定된 脈動燃焼가 얻어지는 形狀 및 可燃範圍를 決定했으며, 可燃範圍에서의 當量比는 0.37~0.80 程度이다.

(2) 燃焼室, 排氣管, 空氣流入管, 燃料노즐室에서의 壓力脈動에 대한 實驗의 考察을 통해 週期的인 脈動燃焼過程의 動的 舉動에 관한 現象을 料明하였다.

(3) 本 燃焼器 形狀의 作動周波數는 간단한 實驗式 $F=233-0.06L$ (F : 作動周波數, L : 排氣管길이 (mm)) 에 의해 $\pm 5\%$ 의 誤差範圍內에서 豫測할 수 있다.

(4) 排氣管의 形狀은 可燃限界의 側面에서 실린더形 (턴다운비: 1.2)보다 確大管形(턴다운비: 2.2~3.2)이 훨씬 우수하다.

(5) 始動의 容易性, 可燃範圍, 壓力脈動幅의 크기등을 綜合的으로 고려하면, C-形의 燃焼器가 가장 우수하며, 이 形狀에서 얻는 最大總推力은 14N이며, 總推力이 13N 일때 最小比燃料消費率(≒0.155Nm³/h.N)이 얻어진다.

參 考 文 獻

- (1) D. Reay, 1969, "The Thermal Efficiency, Silencing, and practicability of Gas-fired Industrial Pulsating Combustors", J. Institute of Fuel, pp. 135~142.
- (2) V.I. Hanby, 1969, "Convective Heat Transfer in a Gas-fired Pulsating Combustor", Trans. ASME, J. Engineering for Power, pp.48~52.
- (3) V.I. Hanby, 1971, "Basic Considerations on the Operation of a Simple Pulse Combustor", J. Institute of Fuel, pp.595~599.
- (4) S.T. Vogt, N.S. Yen, 1980, "Performance of a Pulse Combustion Gas-fired Water Heater", Trans. ASHRAE, Vol.86, pp.126~141.
- (5) S.H. Oh, 1983, "Acoustic Modelling and Analysis of Pulsating Combustion in a Gas-fired Pulse Burner", Ph. D. Dissertation, Univ. of Illinois at Chicago.
- (6) 久岡聖外 4 名, 1982, "小型パルス燃焼器の研究", 第20回 燃焼シンポジウム前刷集, pp.356~358.
- (7) 大岩紀生外 4 名, 1986, "パルス燃焼に関する實驗的研究", 日本機械學會論文集(B編), 第52卷, 第476號, pp.1913~1922.
- (8) 齊藤和天外 3 名, 1986, "パルス燃焼器の熱發生速度に関する實驗的研究", 日本機械學會論文集(B編),

第52卷, 第479號, pp.2722~2728.

- (9) J.L. Muller, 1967, "The Development of a Resonant Combustion Heater for Drying Applications", The South African Mechanical Engineer, Feb., pp.137~146.
- (10) J.A.C. Kentfield, 1977, "A New Light Weight Warm Air Blower for Rapidly Pre-Heating Cold-Soaked Equipment", ASME Paper, 77-WA/HT-20.
- (11) J.A.C. Kentfield, R. Rehman, E.S. Marzouk, 1977, "A Simple Pressure-Gain Combustor for Gas Turbines", Trans. ASME, J. Engineering for Power, pp.153~158.
- (12) M. Rehman, 1976, "A Study of A Multiple-Inlet Valveless Pulsed Combustor", Ph. D. Thesis, Univ. of Calgary.
- (13) 吳相憲, 崔炳翰, 林光烈, 1987, "空氣噴咀型 脈動燃焼器의 特性에 관한 實驗的 研究", 大韓機械學會論文集, 第11卷, 第2號, pp.271~278.