

# 맥 동 연 소 기

## Pulse Combustion Burner

이 관 수\*  
Kwan Soo Lee

### 1. 머리말

인류의 문명이 불로부터 시작하였고 이러한 불의 사용이 최초의 연소기술이라 한다면 이것은 인류역사의 가장 오래된 기술 중의 하나라 할 수 있다. 연소의 중요성은 현재 우리가 소비하는 에너지의 90% 이상을 연소에 의해 발생시키고 있고, 서기 2000년에 가서도 80% 이상을 차지하리라 예상되기 때문에 연소와 관련된 연구의 중요성은 매우 크다고 볼 수 있다. 따라서 연소기술의 조그마한 개선은 에너지 문제, 환경보존 등 사회문제 전반에 걸쳐 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다. 그래서 이러한 것을 충족시키기 위한 방안 중에서 맥동연소기는 잠재성이 있는 것중의 하나로 각광받게 되었다.

맥동연소 현상은 18세기말 Byron Higgins에 의해 처음 보고된 이래로 거의 모든 연속 유동연소장치에서 연소로 인하여 크던 작던간에 진동이 생기는 것이 관찰되어 왔다. 이러한 현상은 자발적으로 일어나며 연소실의 형태와 크기, 연료의 형태, 사용된 분사장치에 관계없이 발생되었다. 그러나 Higgins가 연소실의 맥동현상을 관찰할때만 해도 독특한 물리적 과정으로 인식되지 못하였고, 다만 압력파가 귀에 들리기 때문에 "Singing flame"이라

불렀다. 이 시기에 몇몇 과학자들이 이러한 현상을 설명하기 위하여 과학적인 흥미를 갖고 시도하였으나 맥동연소 과정의 복잡성으로 인하여 이렇다 할 결과를 얻지 못한 관계로 이것에 대한 연구의 대부분은 문서화 되지 못하였다. 가장 중요한 연구 중의 하나는 Soundhass의 연구를 기초로 한 Rayleigh의 맥동현상이 일어나는 판단기준이다. 또 한편의 연구자들은 맥동연소에서 일어나는 소음과 진동이 연료장치와 그 주변장치를 파괴시킴으로 이러한 진동을 억제하기 위한 방법을 연구하였다.

연소실에서 의도적으로 연소진동이 발생하도록 설계된 연소장치를 맥동연소기(Pulse Combustion Burner)라 부르며, 이러한 장치는 비공진 맥동연소기와 공진 맥동연소기로 구분되는데 오늘날 대부분은 후자의 형태를 취하고 있다.

맥동연소 과정이 본격적으로 주목을 받기 시작한 것은 1906년 프랑스의 Esnault-Pelterie가 항공기 엔진에 사용하기 위하여 개발한 맥동연소장치를 특허국에 제출한 후 부터였다. 이것과 유사한 특허안이 1908년 Karavodine, 1910년 Marcomet에 의해 신청되어졌다. 그들의 특허안은 항공기 추진(혹은 터빈가스압력 생성)에서 단지 그럴듯한 생각만 제공했을 뿐 실용화 되기에는 거리가 멀었다. 맥동연

\* 정회원, 한양대학교 공과대학 기계공학과

소장치의 최초의 성공은 1931년 독일의 “Paul-Schmidt”에 의하여 이루어졌다. 그가 개발한 “Schmidt-tube”는 2차대전 당시 연합군에게 상당한 공포감을 주었던 “V-1 buzz bomb”에 응용되었고 그것의 출현후 맥동연소와 관련된 연구의 대부분은 Propulsion 분야에서 주로 수행되어 왔다. 이러한 연구 중 대표적인 것 중의 하나로 1944~1953년 사이에 미국에서는 NACA의 감독하에 “Project-Squid”로 명명되어 광범위한 실험 및 이론적 연구가 수행되었다. 1950년대에 ramjet 및 turbojet engine의 출현과 더불어 낮은 비행효율 및 소음으로 Pulse-jet engine에 대한 관심은 사라지기 시작하였다.

그러나 1960년대 열전달 분야에서 Pipe 내의 유동을 맥동시킴으로써 Pipe내의 열전달계수가 상승됨을 실험적으로 알아낸 후 맥동연소를 이용한 맥동연소온수기(Pulse Combustion Water Heater)에 대한 관심을 갖게 되었다. 대부분의 물을 가열하는 열교환기에서 물쪽의 열전달계수는 높지만 연소생선물은 gas 상태로 존재하므로 gas의 열전도계수가 낮아 gas 쪽의 대류열전달계수가 작기 때문에 전체적인 총합 열전달계수(Overall heat transfer coefficient)가 작아진다. 따라서 맥동연소방식을 사용하면 배기 gas의 압력과 유동의 맥동으로 연소 gas 쪽의 열전달계수 증가로 열교환기의 총합 열전달계수의 증가를 가져온다. Dahr 등에 따르면 연속 연소식 온수기와 맥동연소기의 효율을 측정 비교한 결과 연속 연소식이 64.9%인데 비해 맥동연소식 온수기는 78.6%이었다. 이러한 것은 맥동연소가열기에 관한 관심을 불러 일으키기에 충분하였고 석유파동으로 인한 에너지 절약에 대한 관심이 높아짐에 따라서 세계의 각처에서 이에 관한 연구가 활발히 진행되기 시작하였다. 이와 관련되어 개척되었던 심포지움은 다음과 같다.

- (a) The First International Symposium On Pulse Combustion .  
(1971년, 영국 Sheffield 대학)

- (b) The Symposium On Pulse Combustion Technology for Heating  
(1979년, 미국 Argonne 국립연구소)
- (c) The Symposium On Pulse Combustion Application  
(1982년, 미국 Atlanta)

## 2. 맥동연소기의 작동원리 및 형태

### 2-1 작동원리

연소실에서 단속적인 폭발연소를 반복하는 맥동연소기의 원리는 극히 간단하며 연소학적으로 새로운 것이 아니다. 그 원리는 그림 1에 도시하여 놓았다.

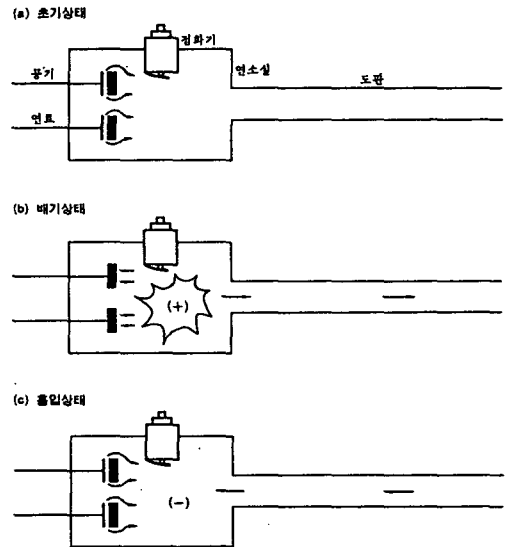


그림 1 맥동연소기의 원리

- (a) 초기상태 (Starting phase)  
작은 송풍기 또는 가압원 (Pressure source) 으로부터 공급된 공기와 연료는 흡입밸브를 통하여 연소실로 들어와 혼합되어 가연기를 형성한 후 점화기에 의해 점화된다.
- (b) 배기상태 (Exhaust phase)  
혼합기는 순간적으로 연소가 일어나고 연소실의 압력과 온도가 급격히 상승하며 이로 인하여 흡입밸브가 닫혀 새로운 공기와 연료가

들어오는 것을 막는 동시에 고온의 연소가스는 도관(flue tube)를 통하여 배기된다.

(c) 흡입상태(Intake phase)

연소생성물의 관성으로 연소실내의 압력은 급격히 떨어져 진공상태로 된다. 이러한 진공 때문에 공기와 연료가 충전되어 새로운 혼합기를 형성하는 동시에 배기가스의 흐름에 역류가 일어난다. 이때 고온배기가스의 재유입, 연소실내의 잔류열의 존재, 충격파 또는 이들의 조합에 의하여 재점화가 일어난다. 그 이후 (b)~(c)의 과정을 반복한다. 일단 연소가 일어나면 점화기는 필요없게 된다.

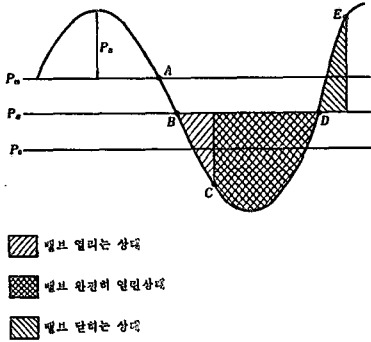


그림 2 맥동연소기의 압력변화와 가스밸브 개폐관계

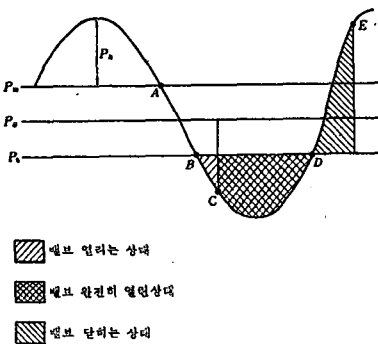


그림 3 맥동연소기에서 압력변화와 공기밸브의 개폐관계

그림 2는 맥동연소기에서 전형적인 압력변화와 가스밸브의 개폐관계를 표시한 것이다.

밸브는 B점(가스공급압력,  $P_g$ )에서 열리기 시작하여 C점에서 완전히 열리고 D점( $P_0$ , 대

기압)에서 닫히기 시작하여 E점에서 완전히 닫힌다. 그림에서  $P_m$ 은 연소실 평균압력,  $P_k$ 는 peak 압력을 나타낸다.

그림 3은 맥동연소기에서 압력변화에 대한 공기밸브의 개폐를 나타낸 것이다. 그림 2와 그림 3에서 볼 수 있듯이 공기밸브는 가스밸브보다 늦게 열리고 일찍 닫히는 점이 다르다.

2-2 맥동연소기의 형태

2-2-1 맥동연소기의 종류

맥동연소기는 여러 형태가 있지만 다음과 같이 크게 세 가지로 구분된다.

- (a) Pulse pot(Reynst-Topf or Reynst Combustion pot)
- (b) Schmidt tube
- (c) Helmholtz Combustor

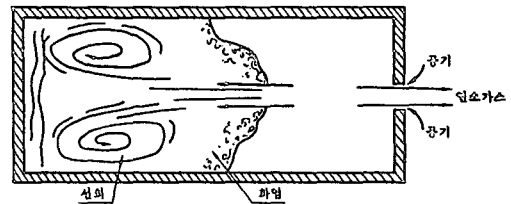


그림 4 Pulse pot

Reynst가 1938년 특허를 받은 Reynst-Combustion pot의 기본형태인 Pulse pot는 그림 4와 같다. 맥동연소기중 가장 간단한 형태로 상부가 열린 폐쇄형 용기이다. Pot 바닥에 있는 액체연료가 점화되면 진동연소가 발생한다. 화염은 Pot 내부에서 일어나며, 배기가스가 배기되고 공기가 상부의 열려진 곳을 통하여 흡입되는 현상이 빠른 속도로 연달아 일어난다. 이 연소기는 소음이 상당히 심해 Reynst가 만든 장치의 경우 6 mile 밖에서도 들렸으며 마치 증기선의 고동소리와 같았다.

(b) Schmidt tube

1931년 Schmidt가 특허를 받은 이 연소기는 원통형(또는 원추형) tube이며 flapper 밸브가 있고 그 반대편은 열려 있다. 이것의 개략도는 그림 5에 주어져 있다. 이 연소기는 후

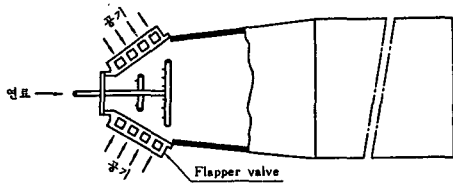


그림 5 Schmidt 맥동연소기

에 V-1 flying bomb에 쓰기 위한 Pulse-jet 엔진의 생산을 위하여 Argus-Engine 회사에 의해 변경되었다. 점화는 극히 빠르게 일어나며 높은 압력상승을 얻어 항공기 추진에 우수한 성능을 갖고 있다. 그러나 갑작스럽게 압력이 상승하고, 배기가스의 유동속도에 있어서 변화폭이 크기 때문에 운동에너지를 이용하기에는 바람직하지 못한 것으로 판명되었다.

(c) Helmholtz 형 연소기

Schmidt tube와 비슷하나 공명관의 지름이 연소실 지름에 비하여 더 작다. 이것은 Helmholtz 공명기처럼 음향학적 계를 이룬다. 최근 20년 동안 대부분의 실험 및 응용은 Helmholtz 연소기를 사용하여 왔다. Gas-fired 연소기의 모양은 그림 6과 같다.

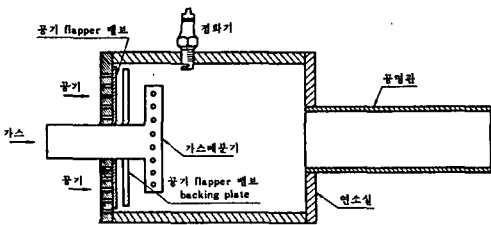


그림 6 Gas-fired Helmholtz 연소기

2-2-2 흡입밸브의 종류

공기와 연료가 밸브를 통하여 연소실내로 들어오는 흡입밸브는 다음과 같은 세 가지로 구분된다.

- (a) Mechanical (flapper) valve
- (b) Aerodynamic valve
- (c) Rotary valve
- (a) Mechanical (flapper) valve
  - (1) Reed-type flapper valve

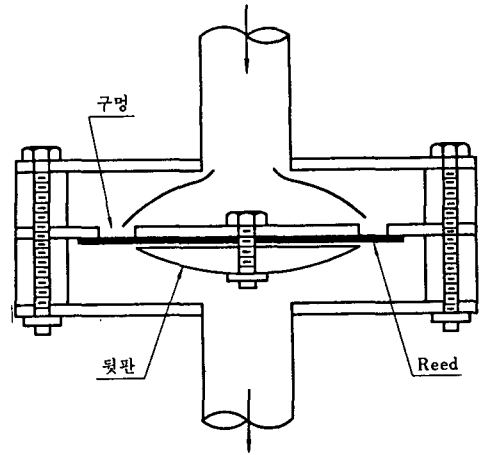


그림 7 Reed-type flapper valve

중심부는 볼트로 고정되고 밸브를 밸브로 통한 압력차에 의해 휘 수 있는 탄성재료로 만든 Strip과 그것으로 덮혀진 구멍으로 구성된다.

이런 형의 밸브는 초기에는 스프링강으로 만들었는데 재료의 피로현상 때문에 수명이 짧았다. 스프링강에 코팅을 하면 작동수명을 향상시킬 수 있다. 그러나 밸브의 파괴는 충격 피로와 Seat를 통한 화염의 누설로 인하여 종종 발생한다.

(2) Ring-type flapper valve

흡입구멍을 막는 부드러운 재료(flapper : ANL에서는 Teflon-coated fiberglass를 사용)와 이를 지지하고 화염의 침해로부터 보호하기 위한 뒷판(backer plate)으로 구성된다. 이

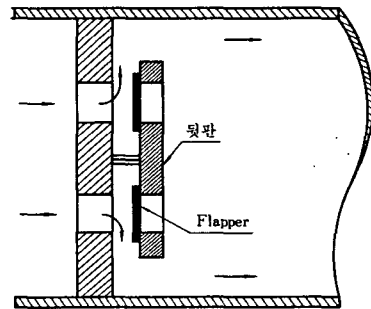


그림 8 Ring-type flapper valve

밸브는 lift 를 변화시켜 유량을 조절할 수 있다.

(b) Aerodynamic valve

간단한 모양의 구멍에서부터 오리피스, 노즐, 다른 복잡한 형상 예를 들어 그림과 같은 Cup 모양에 이르기까지 여러 가지가 있다. moving part 가 없고 고온에서도 작동할 수 있으며 흡입공기에 대한 내식성이 있다. 그러나 연소생성물의 역류(back flow)가 생겨 바람직하지 못한 결과를 가져올 수도 있다. 이 밸브에 대해서는 명백한 설계철차가 정하여져 있지 않지만 흡입시 보다 역류시 유동저항이 더 커야 한다.

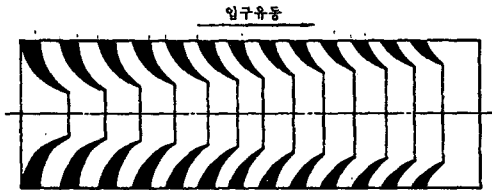


그림 9 Cup-shaped aerodynamic valve

(c) Rotary valve

연소기로의 공기 공급을 차단하기 위하여 모터로 구동되는 디스크를 사용하는 밸브로서 연소기의 진동주파수에 맞추어 밸브를 작동시키는 모터가 필요하다. 밸브의 작동주파수는 연소실의 순간 공진주파수와  $\pm 1\%$ 내에서 일치하여야 한다. 만약 그렇지 않으면 자동흡입

에 대한 능력은 급격히 저하되고 화염이 꺼질 수 있다. 이 밸브는 연소기의 자력자동의 장점을 살리지 못하였기 때문에 널리 보급되지 못하였다.

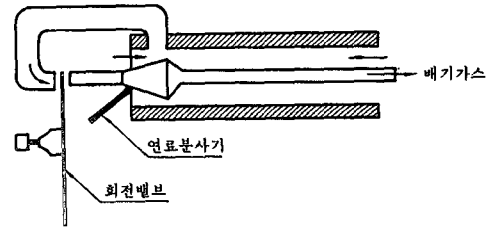


그림 10 Rotary valve

3. 맥동연소가열기의 구조와 특징

맥동연소기와 온수기(또는 난방기)가 결합된 맥동연소가열기는 그 형태는 다양하나 그 기본 구성은 일반적으로 다음과 같이 구성된다.

- (a) Fuel-Supply system
- (b) Air-Supply system
- (c) Inlet decoupling chamber
- (d) Combustion chamber with inlet valves for air and fuel
- (e) Flue tube
- (f) Heat Exchanger
- (g) Exhaust decoupling chamber
- (h) Secondary heat exchanger and exhaust muffler

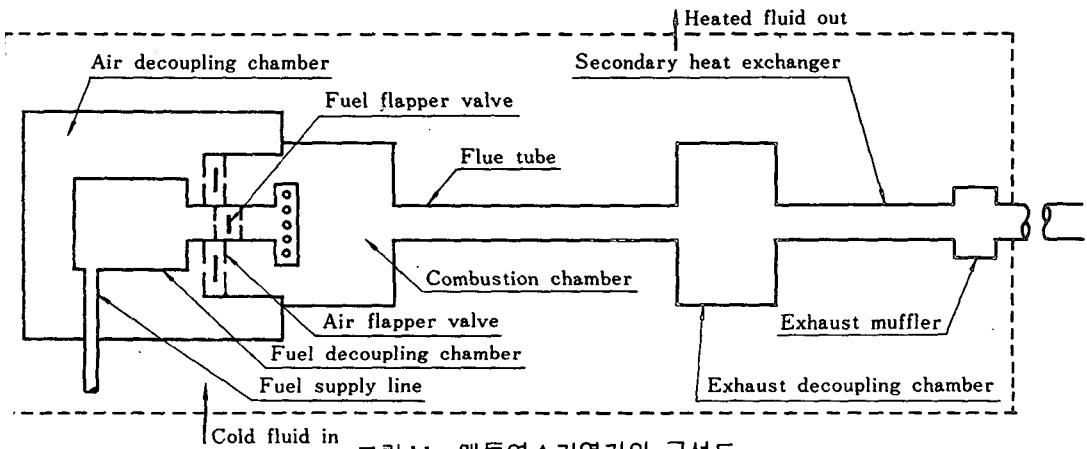


그림 11 맥동연소가열기의 구성도

Exhaust decoupling chamber는 연소실과 도관(flue tube)에서의 압력맥동을 2차 열교환 기로의 전달을 줄이기 위하여 설치한 것이고, Inlet decoupling chamber는 연소실에서 연료(또는 공기)계로 전파되는 압력맥동을 줄이기 위한 것이다.

그림 12는 대표적인 맥동연소가열기의 연소실내의 압력변화를 나타낸 것이다. 이것의 운전주파수는 50 ~ 500 Hz 이고, 이러한 주파수는 다음과 같은 식으로 근사적으로 계산할 수 있다.

$$f = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{\gamma R A_t T_c}{L_t} \left( \frac{1}{V_c} + \frac{1}{V_{exh}} \right) \right\}^{1/2}$$

여기서,

$\gamma$ : 비열비

$R$ : 기체상수

$A_t$ : 도관의 단면적

$L_t$ : 도관의 길이

$T_c$ : 연소실 평균온도

$V_c$ : 연소실 체적

$V_{exh}$ : 배기실 체적

$V_{exh} \gg V_c$  일때는 Helmholtz 공진기와 일치한다.

$$f = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{A_t}{V_c \cdot L_t}}$$

여기서  $C(=\sqrt{\gamma R T_c})$ 는 음속이다.

이러한 맥동의 진폭 및 주파수는 기하학적 형상에 크게 좌우된다. 이에 대한 Dahr 등의 Computer simulation 결과는 그림 13과 그림 14에 주어져 있다.

그림 11과 같이 구성된 맥동연소가열기는 다음과 같은 장점을 갖고 있기 때문에 간소화 되면서도 높은 효율을 갖는 연소기가 된다.

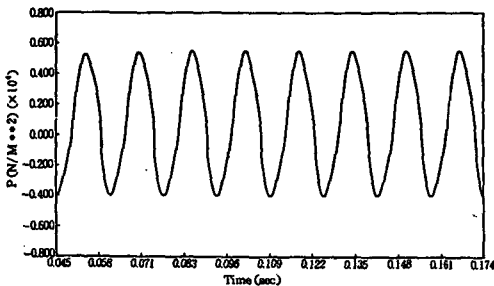


그림 12 연소실의 압력변화

(a) 고온연소가스의 맥동으로 고온가스면에서 강한 난류로 인한 대류열전달계수의 향상과 공명관(또는 연소실 및 배기실)내의 퇴적물 제거로 인한 열저항감소 등으로 열효율이 증가한다(그림 15).

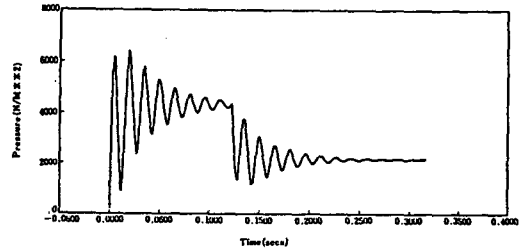


그림 13 연소실체적을 크게 하였을 때의 연소실압력

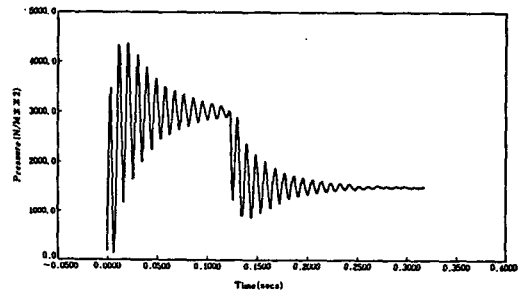


그림 14 도관길이를 줄였을 때의 연소실압력

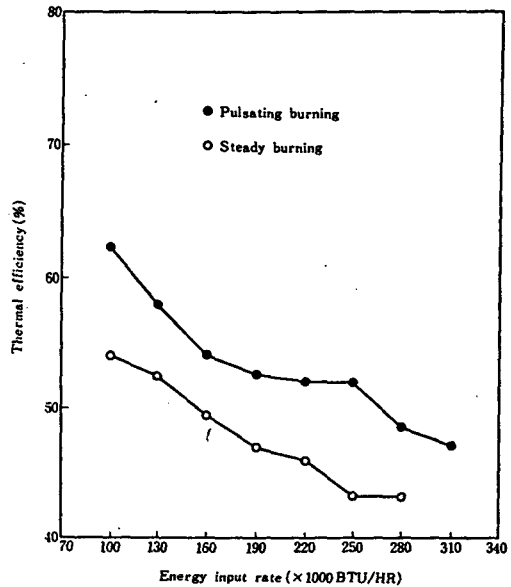


그림 15 Steady burning과 pulsating burning의 열효율(Huang의 실험결과)

(b) 연소실의 압력진동으로 인해 배기가스가 강제 배기되기 때문에 재래식 굴뚝이 필요 없으며 자연 통풍에서 유지되어야 할 낮은 온도 (예를 들면 응축온도)에서도 배기될 수 있다. 흡기도 자동으로 일어나므로 특별한 송풍기가 시동시를 제외하고는 필요 없으며 일단 연소가 개시되면 점화가 자동으로 일어나므로 계속적인 점화를 위한 점화기가 필요 없다. 또한 이러한 것들은 급배기관의 치수를 작게 할 수 있다.

(c) 연소실내의 연소가 심한 난류상태에서 일어나므로 혼합이 촉진되어 저화염온도로 거의 완전연소가 일어나며, 이 때문에 미연 탄화수소나 일산화탄소의 배출이 적어질 뿐만 아니라 질소산화물의 배출도 적어진다.

이러한 장점이 있음에도 불구하고 맥동연소가 열기의 발전에 저해가 되는 이유로는 연소시 발생하는 심한 소음(일반적으로 80~90dB로서 가정용으로 사용하기 위해서는 60 dB 이하가 되어야 한다)과 진동문제가 해결되지 못하였고 과정 자체가 너무 복잡하며 실험적 및 이론적 연구가 극히 어려운 점 등 많은 장애요소가 있기 때문이다.

#### 4. 맥동연소 응용의 예

맥동연소는 강도 높은 연소, 열전달 향상 등과 같은 많은 이점을 지니고 있는 관계로 세계 여러 나라에서 이를 실용화 하려는 시도가 꾸준히 지속되어 왔다. 실용화한 예로서는 온수기, 난방기, 증기발생장치, 추진장치, 건조기, 안개발생장치, 기화기, 고온가스의 재순환기, 휴대용 가열기 등을 들 수 있다. 이런 것중 맥동연소에 관한 문헌에서 흔히 볼 수 있는 몇 가지 예를 기술하고자 한다.

##### 4-1 온수기(Water heater)

그림 16은 1956~1960년까지 Lucas-Rotax사에서 kitchen에 의해 개발된 31.36 kW(107000 Btu/h)인 소형 맥동가스온수기로서 "Pulsamatic"이란 상품명에 붙여져 1960~1966년까지 Lucas-Rotax사에서 150대, Green-

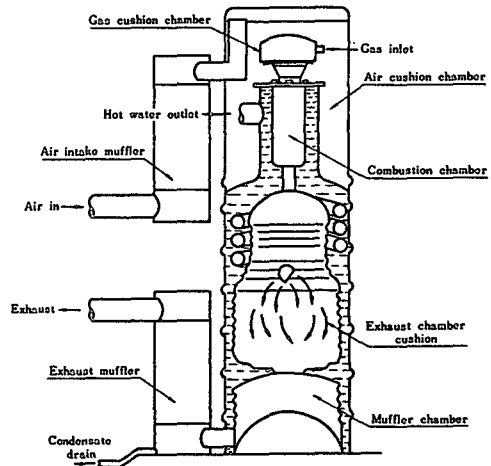


그림 16 Lucas-Rotax 사 온수기

Steel사에서 645대가 제작되어 시판되었던 것이다. 이것은 Condensing mode로 작동할 수 있도록 설계되어 있어 배기가스 온도가 낮기 때문에 배기관에 응축배수가 설치되어 있다. 또한 소음기(Muffler)가 공기관과 배기관 각각에 설치되어 소음이 감소되었고, 운전주파수는 70Hz 이었다. 1966년 이후 Pulsamatic의 생산이 중단되었는데 그 이유는 확실히 알 수 없지만 종래의 온수기 보다 생산 단가가 비싸 기름값이 저렴했던 그 당시로 볼 때 보급되기에는 상당히 어려웠던 것 같다. 그러나 1차 석유파동 이후 유가의 폭등으로 맥동온수기에 대한 관심은 재개 되면서, Kitchen에 의하여 1976년 Pulsamatic이 재설계되어 Hydrotherm사(미국 New Georgia주)에서 상품명 "hydro-pulse"로 1979년부터 2개의 기종이 시판되게 되었다. 이것 중 하나는 액체프로판올 사용하는(열입력: 26.37 kW) 것이고, 다른 하나는 천연가스를 사용하는(열입력: 29.3 kW) 것이다. 이것의 열효율은  $90.5 \pm 1(\%)$ 이고 운전주파수는 60 Hz 이다.

또 다른 예로서는 AAMC(American Appliance Manufacture Corporation)사에서 제작한 그림 17과 같은 가스온수가열기가 있다.

연소실의 모양은 구형으로서 각각의 지름은 25.4cm(10 in)와 40.6cm(16 in)이며 이들은 지름이 2.54cm(1 in)이고 길이가 168cm (66

in)인 나선형으로 된 4개의 공명관으로 연결되어 있으며 보조열교환기를 부착시킴으로써 소음을 10 dBA 가량 줄일 수 있으며 가스입력도 2% 정도 낮아졌다. 또한 흡입구와 배출구에 duct를 사용함으로써 소음이 한층 낮아졌다.

duct 또는 외부소음기(external muffler)가 없을 때 장치의 성능은 다음과 같다.

가스 입력률	54.205 kW(185 kBTU/h)
가스 공급압력 (Pg)	4.826 cm(1.9 in) W. C
운전 평균압력 (Pm)	54.61cm(21.5 in) W. C
CO <sub>2</sub> 농도	9.0%
CO 농도	0.012%
NO <sub>x</sub> 농도	41 ppm(22(n)g/J)
입구로부터 99.06 cm(39 in) 거리에서 SPL	73 dBA
출구로부터 99.06 cm(39 in) 거리에서 SPL	75 dBA
열효율	97%

W. C : Water Column.

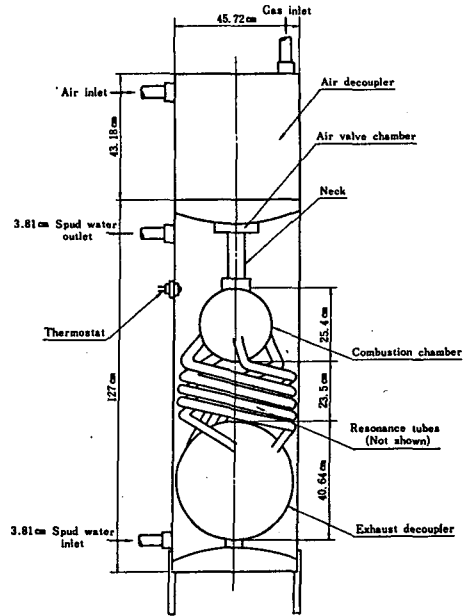


그림 17 AAMC사의 가스맥동운수기

#### 4-2 공기 가열(Air heating)

Huber(독일)는 버스 및 수송매체에 공기를 예열할 목적으로 가솔린을 사용하는 맥동연소기를 개발하였다.

이것의 개략도는 그림18과 같다.

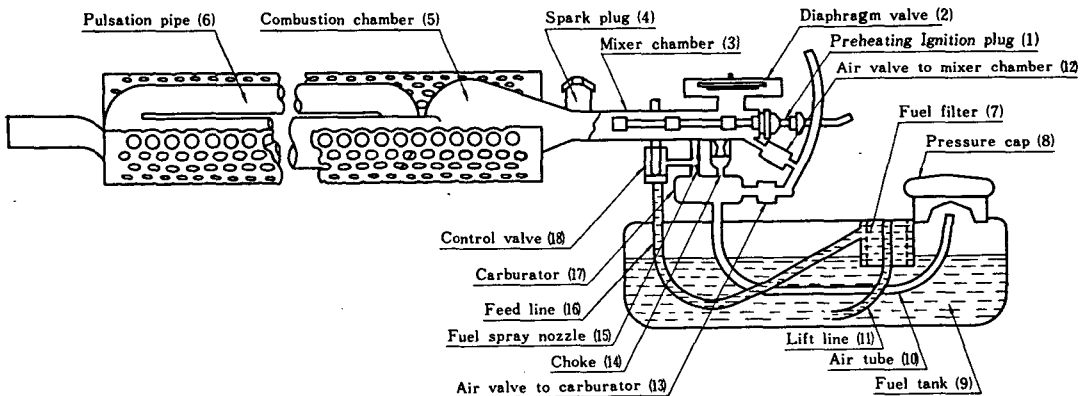


그림 18 Huber의 공기 가열기



점화단추를 누르면 예열점화플러그(1)와 점화플러그(4)에 전원이 공급되고, Diaphragm pump(그림에는 나타나 있지 않음)는 공기밸브(12)와 (13)를 통하여 혼합실(3)과 기화기(17)에 공기를 공급한다. 기화기와 연료탱크(9)는 공기관(10)으로 연결되어 있어 기화기에 흘러 들어온 공기가 연료표면에 압력을 가하게 되고 연료는 lift line(11), 연료여과기(7), 그리고 공급관(16)을 통하여 조절밸브(18)로 흐르게 된다. 조절밸브가 열리면 연료는 분무노즐(15)을 통하여 혼합실(3)에 들어가 공기밸브(12)를 통하여 들어온 공기와 혼합되고, 예열점화플러그(1)에 의해 가열되면서 연소실(5)에 들어가 점화가 이루어지게 된다. 연소가 일어나면 연소실의 압력이 상승되고, 이 압력이 혼합실과 맥동관(6)에 전달되며, 공기밸브(12)와 (13), diaphragm 밸브(2)는 닫히게 된다. 소량의 연소가스는 쇼크밸브(14)와 분사노즐(15)을 통하여 기화기에 흘러들어오게 되고 이것은 새로운 압력원이 되어 새로운 연료를 조절밸브로 공급되게 한다. 대부분의 연소가스는 맥동관(6)을 통하여 유출되면서 연소실과 혼합실의 압력이 떨어지게 되어 diaphragm valve를 열리게 함으로써 혼합실에 새로운 공기가 들어와 연료와 다시 혼합되는 이러한 연소과정을 반복한다.

이 장치의 제원은 다음과 같다.

무	계	· 연료가 없을 때 : 13 kg · 연료가 있을 때 : 16 kg
출	력	5,000~10,000 kcal/h
연	료	소
비		약 0.8~1.6 l/h
탱	크	용
량		4 liter (가솔린 또는 경유)

또한 그림 19는 GRI(Gas Research Institute)와 AGA(American Gas Association) 후원으로 Lennox 사에서 제작하여 시판한 온방용 맥동연소기로 출력이 11.134~36.332 kW (38,000~124,000 Btu/h)인 5종이 있다. 2차 열교환기는 냉장고에서 흔히 볼 수 있는 fin-tube로 되어 있고 공기와 가스밸브는 reed-type flapper valve로 되어 있다. 또한 정상 상태의 운전효율은 91~94%이고 운전

주파수는 60~70 Hz 이다.

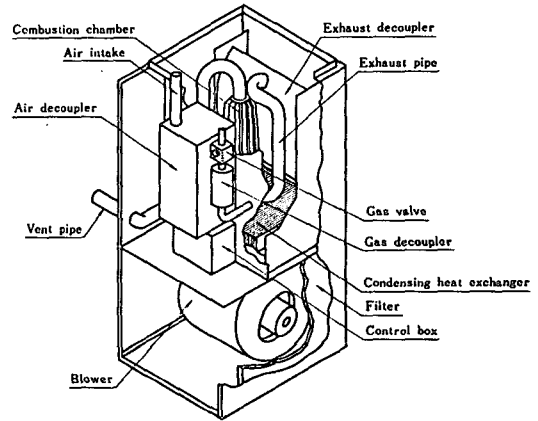


그림 19 Lennox사의 온방용 맥동연소기

#### 4-3 증기 발생 (Steam raising)

군사훈련, 벌목, 광산, 야영지, 홍수와 지진이 발생한 지역에서 대량의 취사를 준비하는데 맥동연소기가 이용되었다. 그림 20은 Sommer(1961)가 개발한 16.7 MW의 석탄을 사용하는 증기발생 맥동연소기이다. 석탄가루와 분말석탄이 저탄기로부터 원추형 연소기로 들어와 송풍기에서 공급된 200~400°C의 공기와 혼합된다. 2차 공기가 공명관 하단에서 유

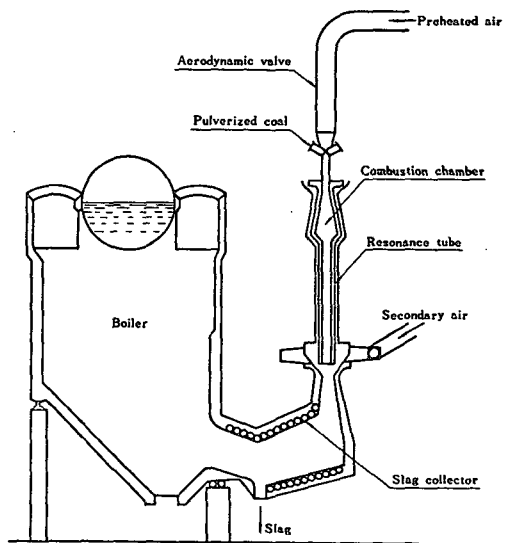


그림 20 Sommer의 증기발생 맥동연소기

입되고 석탄가루를 연소시키기 전에 기체연료로 연소실, 공명관 및 용재실을 가열해 주어야 한다. 일단 연소가 일어나면 고온의 배기 가스에 의해 보일러가 가열되어 증기를 발생시킨다.

이것 이외의 증기발생장치로 습식증기발생기(Wet steam generator)가 있다. 이것은 전기가 공급되지 않는 구역에서 소형증기 터빈을 구동시키기 위하여 사용하기도 하였다.

#### 4-4 건조(drying)

그림 21은 Ellman 이 갈탄을 건조시키기 위하여 설계한 205 kW 의 연소기이다. 건조가스의 온도는 370 ~ 790 °C로, 연료율과 2차 공기량으로 조절된다. 건조통(drying column)은 지름이 20cm, 길이가 15.25m이다.

건조된 갈탄의 수분율은 공급률 300 kg/hr 에서는 10%, 3,200 kg/hr 에서는 30% 정도이다.

이와 같은 방법으로 갈탄 이외에 음식, 과일, 채소 등을 건조시키는데도 맥동연소기가 이용되었다.

#### 4-5 추진(propulsion)

추진에서 잘 알려진 맥동연소의 응용으로는

2차 세계대전때 독일인이 개발한 무인비행폭탄(V-1 flying robot bomb)이 있다.

“Ecrevisse(crayfish)”는 V-1엔진을 개량개발시킨 것으로 그림과 같다. 이것은 주배기(main exhaust)와 aerodynamic 밸브를 지나는 역류에 의해 발생하는 배기추력을 이용할 수 있도록 공기흡입구 방향과 배기방향이 동일하게 구부러져 있다. 그러나 1960년대에 들어서 pulse-jet 비행엔진에 대한 높은 소음, 낮은 비행열효율, 그리고 turbo-jet 와 ram-jet 의 출현 때문에 관심이 점점 사라지게 되었다.

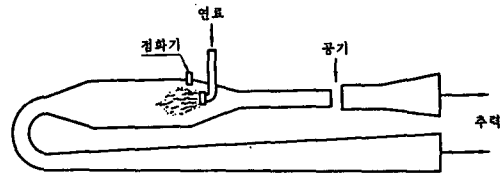


그림 22 펄스-젯트 (Ecrevisse)

### 5. 맺음 말

맥동연소는 오래된 연소기술 중의 하나이나 일어나는 현상이 복잡하여 실용화에 필요한 기술지식이 절대적으로 부족한 실정이다.

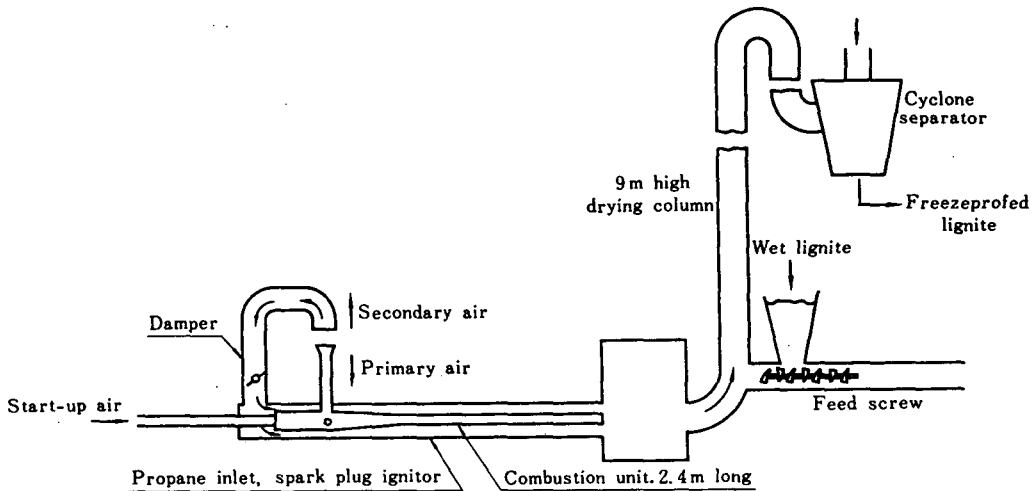


그림 21 Ellman의 맥동연소건조기

고열효율, 저공해 등 많은 장점을 갖고 있는 맥동연소기는 오늘날의 사회적 욕구와 부합되는 관계로 세계 각국에서 이와 관련된 연구에 박차를 가하여 제품을 시판하고 있으나 체계적인 실험적 및 이론적 연구의 부족으로 대부분 설계시 시행착오적인 방법에 의존하고 있

다. 따라서 맥동연소기에 대한 체계적인 연구가 무엇보다 필요하다. 특히 석유자원이 없는 우리나라에서 열효율이 종래의 연소기 보다 10% 이상 향상된 맥동연소가열기에 대한 연구를 시작하는 일은 크게 의의 있는 일이라 생각된다.

## 제 2 회 Clean Room 강습회 개최안내

**일 시 :** 1987년 5월 22일(금) 9:00~18:00

**장 소 :** 사학연금회관 세미나실(여의도 소재)

**강습내용**

- \* Clean Room 설계 및 시공상의 제반문제에 대하여  
이 광 수 - (주)리키엔지니어링 사업부장
- \* Clean Room 난류유동해석과 Clean Room Upper Plenum 유동조건이 C/R 내부의 입자유동에 미치는 영향  
오 명 도 - 한국과학기술원 선임연구원
- \* 식품산업에서의 세정, 살균과 Clean Room 관리  
허 중 화 - 경성대학교 부교수
- \* Clean Room이란 무엇인가? - 최근의 화제와 금후의 연구과제 -  
서 석 청 - 한국기계연구소 책임연구원
- \* VLF 유니트의 기류분포에 관하여  
김 형 겸 - (주)신성엔지니어링 기술이사
- \* Bio-Hazard 의 설비대책  
최 안 석 - (주)신영산업플랜트 상무이사
- \* "S 건물" 반도체 연구센터의 설계 실예  
이 순 주 - (주)코리아엔지니어링 부장

© 이의 현재 미정상태인 4 과목의 강습이 추가될 예정임.