

강좌

스터얼링기관의 연구, 개발 동향 (1)

-구조 및 작동원리-

Research and Development for Stirling Engine(1)

-Structure and Working Principle-

김태한*

정회원

T. H. Kim

1. 서언

자동차용기관, 운송용기관, 농업용기관, 박용기관, 항공용기관 등 현재 사용하고 있는 모든 기관의 연료는 대부분 석유에 의존하고 있으나 이 연료의 가채년수는 향후 30년 정도로 추정하고 있으므로 석유자원의 유한성에 대비하기 위해서는 대체에너지 기관 개발이 절실히 요구되고 있다(本多, 1986). 대체에너지 기관으로서는 연료의 다양성, 고효율, 저소음, 저진동, 저공해 등의 특징이 요구되며, 또한 용도도 다양해야 한다. 이러한 기관으로 스텔링기관, 수소연료기관 등이 개발되고 있다.

스터얼링기관은 외연기관으로서 전술한 대체에너지 기관의 요구 조건을 모두 충족시킬 수 있어 이의 연구, 개발이 세계적으로 치열하게 수행되고 있다. 따라서 본 강좌는 스텔링기관의 연구, 개발동향이라는 주제하에 제1보에서는 발달사, 구조, 작동원리, 특징에 관해 소개하고 제2보에서는 성능해석법, 응용, 개발연구동향 등에 관해서 소개하고자 한다. 스텔링기관에 사용

되고 있는 용어에 대해 아직까지 정의한 것이 없으므로 필자 나름대로 정의를 하였거나 원어를 그대로 사용하였다.

2. 발달사.

1816년 영국의 牧師 Robert Stirling에 의해 발명된 스텔링기관은 그의 동생인 James Stirling에 의해 개량된 열공기기관이다. 그후 1850년 전후에 Jone Ericsson이 출력 1PS의 피스톤-디스플레서형 스텔링기관 제작에 성공하면서 개화기를 맞게 되었고, 1850년까지 0.5-5PS의 스텔링기관을 2000대 가까이 판매하였으며 1953년에 직경 4200mm, 스트로크 5000mm, 출력 200PS, 회전수 9rpm의 4기통 박용기관을 제작해서 선박에 탑재 했으나 예정의 출력이 나오지 않아 실패하였다. 1860년경부터 세계 제1차 대전까지는 수마력 이하의 저출력 기관이 제작되어 관개용, 가정용의 펌프, 재봉틀, 인쇄기용의 동력원으로 이용되어 왔다(Martini, 1982, Urieli,

* 경북대학교 농업기계공학과

1982).

한편 1830년에서 1850년까지는 증기기관이 급속히 진보한 시기이고, 1870년부터는 내연기관의 출현에 의해 스테얼링기관의 발달은 쇠퇴해 갔다. 그후 1973년 제1차 석유파동이 일어나고 이와 전후로 스테얼링기관이 다시 주목을 끌게되어 미국, 서독, 일본, 네덜란드 등 세계 각국에서 그 연구가 활발히 수행되고 있다.

그 이유는 열효율이 높은 것 이외에도 외연기관의 일종으로서 열원의 형태가 다양하여 대체 에너지를 이용할 수 있고, 또한 내연기관에 비해 소음이 적으며 저NOx 등 저공해이므로 환경보전시대에 부응되는 기관이기 때문이라 하겠다. 그러나 이와같이 스테얼링기관이 다시 주목을 받게되기까지는 네덜란드의 Philips회사의 Roelf Meiyer박사팀의 노력 때문이다. 이 회사의 Meiyer박사는 1930년대부터 군용 라디오와 소형발전기의 동력원으로서 연구를 시작해서, 수백마력의 스테얼링기관을 개발하여 버스에 탑재하는데 성공하였다. 그후 1960년대 후반에는 스웨덴에 있는 United Stirling회사와 독일의 MAN회사의 제휴에 의해 기술을 진보시켰고, 미국의 General Motors사 등으로 진출하였다. 한편 미국에서는 MIT의 Beal박사가 독자적으로 개발한 Free-Piston식 스테얼링기관을 발판으로 각 회사가 히트펌프구동용 스테얼링기관의 개발연구를 시작하였다. 그후 구미에서도 개발 열이 고조됨과 동시에 일본에서도 정부 및 각 회사에서 연구가 시작되어 현재까지 각종 개발 연구가 수행되고 있다.

3. 스테얼링 기관의 구조 및 작동원리

가. 구조

스테얼링기관의 구조를 그림1에 나타내었다. 그림에서와같이 주요부는 피스톤(power-piston), 디스플레서(displacer-piston), 가열기(heater), 재생기(regenerator), 냉각기(cooler),

구동기구(drive-mechanism)로 구성된다. 그림에서와같이 재생기와 디스플레서 상부 사이를 형성하는 공간을 팽창공간(expansion space), 디스플레서 및 재생기 하부와 피스톤 상부 사이를 형성하는 공간을 압축공간(compression space)이라한다.

스테얼링기관이 내연기관의 구성요소와 다른 점은 디스플레서, 가열기, 재생기, 냉각기가 있는 것이다. 피스톤과 디스플레서의 차이는 다음과 같다. 피스톤의 경우, 피스톤의 상부면과 하부면 사이에 온도차는 없으나 큰 압력차가 있으므로 누설방지를 위해서 밀봉장치가 필요하고 왕복운동시 일을하나, 디스플레서는 압축공간과 팽창공간을 분리하고 왕복운동을 할 때 일을 하지 않으며 다만 작동유체를 한 공간에서 다른 공간으로 이동시키는 역할만하며 이 두 공간은 연결되어 있으므로 상부면과 하부면사이에는 압력차가 없으나 온도차는 크다. 또한 스테얼링기관에 있어서 기관성능에 가장 큰 영향을 미치는 것은 열교환기이다. 이 열교환기는 가열기, 냉각기, 재생기의 3요소로 구성된다. 가열기는 외부 열원으로부터 작동유체에 열을 공급하는 역할을 하며 냉각기는 이와 반대로 작동유체의 열을 외부로 방출하는 역할을 한다.

재생기는 가열기와 냉각기 사이에 설치되어 작동유체가 팽창공간에서 압축공간을 향하여 유동할 때(hot blow)는 작동유체로부터 열을 흡수하고, 작동유체가 압축공간에서 팽창공간에 향하여 유동할 때(cool blow)는 작동유체에 열을 공급하는 역할을 한다.

스테얼링기관에 높은 열효율을 기대할 수 있는것도 이 재생열교환기가 있기 때문이다. 따라서 재생기는 가장 중요한 구성요소가 된다. 재생기의 성능을 지배하는 인자로서는, 전열성능, 유동마찰손실, 불용체적(dead space), 재생기 효율 등이 있다.

이상적인 재생기는 전열성능이 우수하고 유동손실이 적으며 불용체적 및 무게가 작고 제작비가 저렴한 것이다. 그러나 재생기 축열재의 비표면적을 증가시키면 기관의 열효율은 향상되는

반면, 유동마찰손실이 증가하기 때문에 압력강하에 의해 출력과 기계효율이 감소한다. 따라서 열역학적, 기술적으로 2가지의 상반되는 조건을 동시에 만족시키기 위한 최적조건을 구명하지 않으면 안된다.

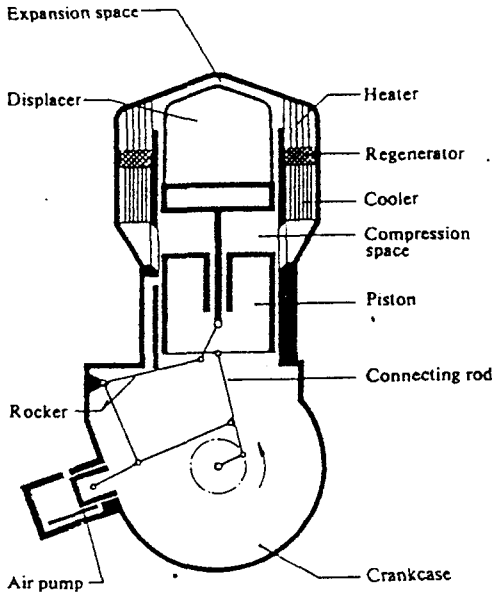


Fig. 1. Schematic section of a single cylinder Stirling engine.

나. 작동원리

스터얼링기관의 작동원리를 설명하기 위해서 그림2의(b)와같은 대향 피스톤형 (opposed piston)기관을 예로들었다(Walker, 1980). 그림과 같이 2개의 피스톤 사이에 재생기가 있고 재생기와 피스톤 상부 사이를 형성하는 공간중 좌측공간을 팽창공간, 우측공간을 압축공간이라 하고, 팽창공간의 온도를 T_{max} (고온), 압축공간의 온도를 T_{min} (저온)이라 하면 재생기의 양끝단에는 온도차($T_{max}-T_{min}$)가 있으며 축방향으로의 열전도가 없다고 가정한다. 또한 피스톤은 마찰없이 운동하고, 작동유체의 누설손실이 없다고 가정한다.

그림2의 (b)의(1)에서와 같이 처음에 압축공간내의 피스톤은 하사점에 있고 팽창공간내의

피스톤은 상사점에 있을경우 작동유체는 모두 압축공간내에 있게 된다. 이 경우 체적은 최대가 되며, 온도와 압력은 최저가 되어 그림2의 (a)의 P-V선도와 T-S선도의 1의 상태가 된다.

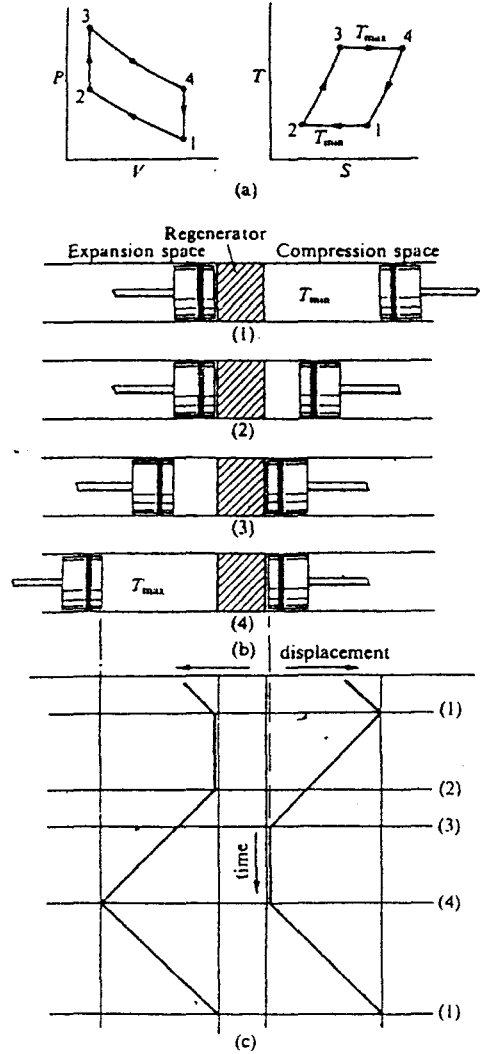


Fig. 2. The Stirling cycle
 (a) P-V and T-S diagram.
 (b) Piston arrangement at the terminal points of the cycle.
 (c) Time-displacement diagram.

1) 과정1-2 : 그림2(b, 2)에서 압축공간내의 피스톤이 하사점에서 상사점으로 이동하고 팽창공간내의 피스톤은 정지상태에 있으므로 압축공간내의 작동유체는 압축에 의해 압력이 증가하

고, 이때 압축공간의 실린더벽으로부터 외부로 방열이 되기 때문에 온도는 일정한 상태(T_{min})가 된다. 이 과정을 등온압축(isothermal compression)과정이라 한다.

2) 과정2-3: 그림2(b, 3)에서 압축공간내의 피스톤은 상사점에 도달하고 팽창공간내의 피스톤은 하사점을 향하여 동시에 이동하므로 체적은 일정하게 유지되고 작동유체는 모두 압축공간에서 재생기를 통해 팽창공간으로 유동하면서 재생기로부터 열을 흡수하여 온도가 T_{min} 에서 T_{max} 으로 상승하고 따라서 압력이 상승한다. 이 과정을 정적(constant volume)가열과정이라 한다.

3) 과정3-4: 팽창공간내의 작동유체는 팽창하고, 이 힘에 의해 팽창공간내의 피스톤이 하사점을 향하여 이동하고, 압축공간내의 피스톤은 상사점에서 정지상태에 있게 된다.

이 과정에서 체적이 증가함에 따라 압력은 감소하나, 작동유체의 온도는 가열기로부터 열이 공급되기 때문에 일정한 상태(T_{max})가 된다. 이 과정을 등온팽창(isothermal expansion)과정이라 한다.

4) 과정 4-1: 팽창공간내의 피스톤이 하사점에서 상사점으로 이동하고 동시에 압축공간내의 피스톤은 상사점에서 하사점으로 이동하여 체적이 일정하게 되고, 이때 팽창을 완료한 작동유체는 팽창공간에서 재생기를 거쳐 압축공간으로 유동하면서 재생기에 열을 방출함과 동시에 압축공간의 실린더벽으로부터 외부로 방열이 되어 압축공간에서 저온(T_{min})으로 된다. 이 과정을 정적 방열과정이라 한다. 이 과정에서 작동유체로부터 재생기로 전달된 열은 과정2-3에서 다시 작동유체로 전달된다.

따라서 스테어링사이클은 2개의 등온과정과 2개의 정적과정으로 구성된다. 그림2의 (c)는 사이클동안 각 피스톤의 변위를 나타낸 것이다.

스테어링기관이 내연기관과 크게 다른점은 작동유체에 열을 공급하는 방법에 있다. 그림3은 스테어링기관과 내연기관의 차이를 나타낸 것이다(Graham, 1983).

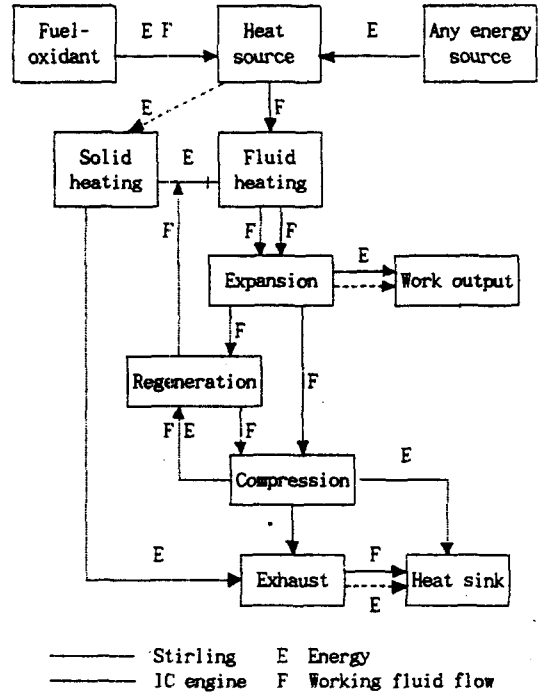


Fig. 3. Conceptual differences between the Stirling and internal combustion engine.

스테어링기관에서는 열원으로서 내연기관의 연료의에 다른 에너지를 모두 이용할 수 있고 이들 열원에 의해 가열기를 통해 작동유체가 가열되어 팽창한 후 재생과정을 거쳐 압축과정으로 들어가고 다시 재생과정을 거친후 가열기를 통해 다시 가열되나, 내연기관은 열원으로서 작동유체인 공기-연료의 혼합기를 압축해서 직접 연소시켜 팽창한 후 재생과정을 거치지 않고 배기과정에서 배기된다. 이와 같이 스테어링기관은 밀폐사이클이므로 내연기관에서와 같이 흡, 배기 밸브가 필요없다.

4. 스테어링 기관의 특징

스테어링기관의 특징은 다음과 같다.

가. 고효율성: 스테어링기관의 효율은 이론적으로 카르노사이클(Carnot cycle)의 열효율과 같은 기관으로서 효율이 높다.

나. 연료의 다양성: 스테어링기관은 외연기관이므로 열원의 형태가 다양하여 탈석유에너지, 즉

최근 주목되고 있는 농축산업, 임산업으로부터 얻을 수 있는 바이오매스에너지, 태양에너지 등 신에너지를 이용할 수 있다.

다. 저공해성 : 내연기관에서는 연소가 폭발적으로 이루어지나, 스테어링기관은 연소가 연속적으로 이루어지며, 연소제어가 용이하고 흡,배기 밸브가 없기 때문에 내연기관에 비해 저진동, 저소음, 저NOx, 저SOx 등 저공해이므로 환경보전 시대에 부응되는 기관이다.

라. 용도의 다양성 : 스테어링기관은 자동차용, 산업용, 히트펌프, 냉동기 및 인공심장펌프의 구동용에 이르기까지 용도가 다양하며 특히 공기 흡입이 어려운 우주선, 해저탐사선의 동력원으로도 이용될 수 있다.

서와 같이 한 실린더의 팽창공간이 인접한 다른 실린더의 압축 공간과 연결되어 있고, 하나의 실린더에 하나의 피스톤이 있으며 피스톤은 압축 공간과 팽창공간 사이로 작동유체를 유동시키고 또한 출력축에 동력을 전달해야 하는 2가지 기능을 하게 된다. 이와 같이하면 단동식에 비해 왕복동요소를 한개로 줄일 수 있다.

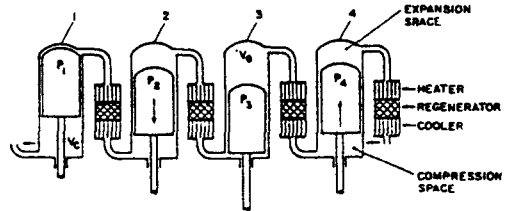


Fig. 4. Schematic representation of a double-acting, four cylinder, Stirling engine.

5. 스테어링 기관의 분류

스터얼링 기관을 대별하면 작동 형식(the mode of operation), 실린더의 배열 (the form of cylinder coupling), 피스톤의 구동기구(the form of piston coupling)에 의해 3가지로 분류된다.

가. 작동 형식에 의한 분류

스터얼링기관은 작동형식에 의해 다음과 같이 4가지로 분류된다.

1) 단동식 기관(single-acting) : 단동식 스테어링기관은 크게 2가지로 분류 된다. 그 하나는 피스톤-디스플레서 형식(piston-displacer machine)으로서 그림6의(a),(b)의 형태이고, 다른 하나는 2개의 피스톤 형식으로서(two-piston machine) 그림6의(c)의 형태이다. 이와같이 단동기관은 2개의 왕복동요소(reciprocating elements) 즉 피스톤-디스플레서 혹은 2개의 피스톤이 한개 혹은 두개의 실린더내에서 작동되는 기관이다.

2) 복동식 기관(double-acting) : 복동식 스테어링기관은 여러개의 단동 스테어링 시스템을 결합하여 복동기관으로 구성한다. 그 구조를 그림4에 나타내었다(Spigt, Daniels, 1975). 그림에

3) Single phase 기관 : 스테어링기관의 작동유체는 대부분 수소, 헬륨, 공기 등을 사용하고 이들 작동유체(working fluid)가 사이클동안 상변화를 하지 않는 형식으로서 대부분의 스테어링기관이 여기에 속한다.

4) Multiphase 기관 : 스테어링기관의 작동유체로서 물 등을 사용해서, 작동유체가 사이클동안 상변화를 하면서 작동되는 형식으로 그림5에서와 같이 냉각기내에서 액체상태인 작동유체가 가열기로 유동하는 과정에서 기체상태로 상변화를 한다. Liquid piston기관의 Jet-stream형식이 여기에 속한다(Renfroe, Mark, 1986).

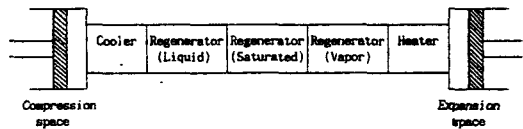


Fig. 5. Multiphase Stirling engine configuration

나. 실린더의 배열에 의한 분류

이것은 디스플레서와 피스톤의 배열형태에 의해 분류한 것으로서 그림6에서와 같이 3가지의 형태로 분류된다. 이 형식은 모두 가)에서 분류한 단동기관에 속한다.

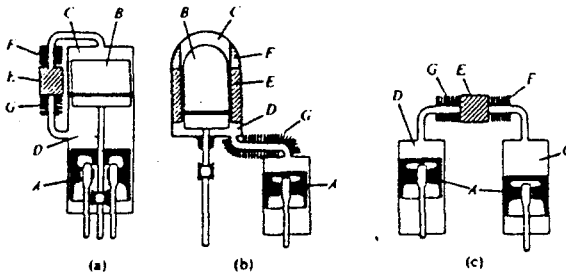


Fig. 6. Type of cylinder coupling by which most types of single-acting Stirling engines may be classified.

- (a) Piston displacer in the same cylinder (Beta form)
- (b) Piston displacer in separate cylinder (Gamma form)
- (c) Two-piston machine (Alpha form)
- A : Power piston
- B : Displacer piston
- C : Expansion space
- D : Compression space
- E : Regenerator
- F : Heater
- G : Cooler

1) β 형식(beta coupling) : 이 형식은 그림6의 (a)와 같이 1개의 실린더내에 디스플레서와 피스톤이 일정한 위상차를 가지고 작동하고, 이 2개의 피스톤의 작동에 의해 압축 및 팽창공간의 체적이 변화한다. 또한 압축공간은 디스플레서 하부와 피스톤의 상부사이의 체적이 되고, 디스플레서로부터가 압축공간을 통과하므로 압축공간

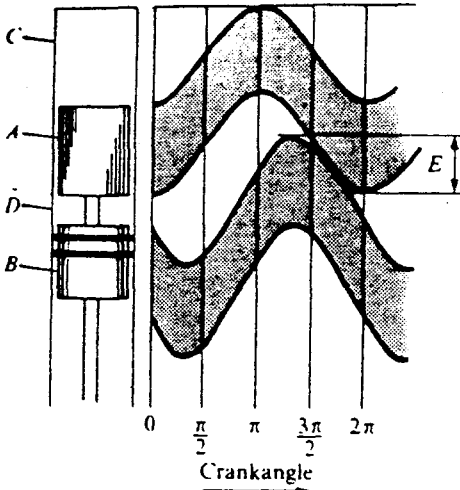


Fig. 7. Piston and displacer motion in the beta coupling engine.

의 체적은 이 루트의 크기에 영향을 받게된다. 이 형식의 장점은 그림7에서와 같이 디스플레서와 피스톤이 실린더의 동일한 위치(B부분)를 이동하도록 설계하므로써 기관의 길이를 줄일 수 있는 것이다.

2) γ 형식(gamma coupling) : 이 형식은 α 형식과 β 형식의 복합형태로서 그림6의 (b)와 같이 2개의 실린더내에 디스플레서와 피스톤이 각각 들어있고, 압축공간은 2개의 실린더에 나누어져 있으며, 작동은 α 형식과 같으나 압축공간의 체적변화는 β 형식과 같이 이루어진다. 이 형식은 피스톤이 있는 실린더의 상부와 디스플레서가 들어 있는 실린더의 하부를 관으로 연결하므로 볼륨체적이 증가하여 출력이 감소하는 단점이 있다.

3) α 형식(alpha coupling) : 이 형식은 그림6의(c)와 같이 2개의 실린더에 각각 피스톤이 있고 각 피스톤의 운동에 의해 팽창 및 압축체적이 변화한다. 각 피스톤은 밀봉장치가 필요하며 따라서 2개소의 밀봉장치가 요구된다. 그러나 밀봉장치는 스테얼링기관에 있어서 최대의 난점이 다.

α 형식은 전술한 바와 같이 2개의 피스톤 모두 밀봉을 요하나 β 및 γ 형식은 그림 6의(a), (b)에서와 같이 피스톤과 디스플레서 루트에 밀봉을 요하므로 밀봉장치가 용이하고 기계손실을 줄일 수 있는 이점이 있다.

다. 피스톤의 구동기구에 의한 분류

스테얼링기관을 구동기구(drive mechanism)에 의해 분류하면 강체에 의한 구동(rigid coupling), 기체에 의한 구동(gas coupling), 액체에 의한 구동(liquid coupling)의 3가지의 기본적인 형식이 있다.

1) 강체에 의한 구동 : 이 형식은 고체의 기계적 결합에 의해 왕복동요소를 구동하므로써 실린더내의 압축 및 팽창체적을 변화시키고 동력을 추출하는 형식으로서 대표적인 메카니즘에는 그림8과같이 6가지의 종류가 있다.

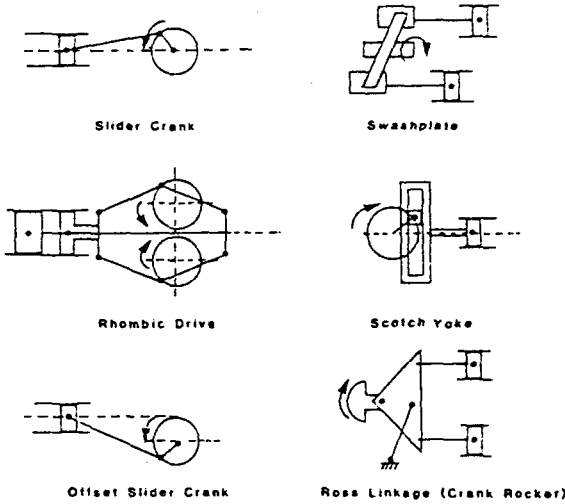


Fig. 8. Available drive mechanisms.

2) 기체에 의한 구동 : 이 형식은 피스톤, 디스플레서 등의 왕복동요소를 전술한 슬라이더-크랭크기구와 같은 기계적인 결합에 의하지 않고 가스역학 (gas dynamics)에 의해 구동하는 것으로서, 이 경우의 피스톤 혹은 디스플레서는 "free"한 상태가 된다. 이 형식의 특징은 구조가 간단하고, 실린더 전체를 용접밀봉(hermetic sealing)하므로써 작동유체의 누설이 방지되며, 저렴하고 수명이 길며, 자력운전(self-starting)이 가능하여 히트펌프(heat pump), 태양열 발전(solar electric power), 급수펌프(water pump) 등에 이용된다. 대표적인 형식으로는 Free piston기관과 Free cylinder기관의 2가지의 종류가 있다.

가) Free piston기관 : 그림9에서와 같이 크랭크 기구가 없고, 피스톤 룯드가 없으므로 실린더는 완전히 밀봉되어 있다. 디스플레서 룯드는 중공이고 끝단이 개방되어 있으므로 디스플레서내의 작동유체는 Bounce space라고 부르는 공간내의 유체에 전달된다. 이 공간내의 압력은 항상 일정하다. 이 공간이 일반적인 스텔링기관의 크랭크기구의 역할과 동일한 역할을 하는 유체 스프링(fluid spring)을 형성한다. 그림9에서와 같이 디스플레서와 피스톤이 정지 상태에 있을 경우 실린더내의 작동유체는 압력과 온도가 일정한 상태이나 가열기를 통해서 팽창공간내의 작동유체에 열이 전달되면 온도가 증가하고 따

라서 압력이 증가하여 디스플레서와 피스톤은 하향운동을 하게 된다. 이때 2개의 왕복동요소에 작용하는 팽창력은 거의 같으나 디스플레서는 피스톤보다 가벼우므로 더빨리 가속된다. 따라서 압축공간의 작동유체는 열교환기를 거쳐 팽창공간으로 이동하게 되고 더욱더 압력이 증가되어 구동력(driving force), 즉 bounce space와 의 압력차가 증가하게 된다. 2개의 왕복동요소는 속도차이에 의해 어느 순간부터는 서로접촉한 상태에서 하향행정을 하게되고 이때 압축공간의 작동유체는 완전히 배제되어 팽창공간으로 이동하게 되며 압축공간내의 압력은 감소하기 시작하고, 작동유체는 계속 팽창하기 시작한다. 2개의 왕복동요소의 하향운동은 압축공간의 압력이 Bounce space내의 압력과 같게될 때까지 계속되나 팽창과정은 2개의 왕복동요소의 관성력에 의해 지속되므로 압축공간과 Bounce space 사이에 부의 압력차가 생기고 이로 인해 2개의 왕복동요소의 하향운동이 감속되어 팽창행정이 완료된다. 그러나 전술한바와같이 디스플레서는 피스톤보다 더빨리 가속되므로 피스톤으로부터 떨어져서 다시 압축공간을 형성하게 된다.

나) Free cylinder기관 : 그림10에서와 같이 피스톤이 실린더와 디스플레서에 비해 매우 무거워서 고정상태에 있고, 디스플레서와 실린더가 주기적인 운동을하여 팽창 및 압축공간의 체적변화에 의해 일을 하는 형식이다.

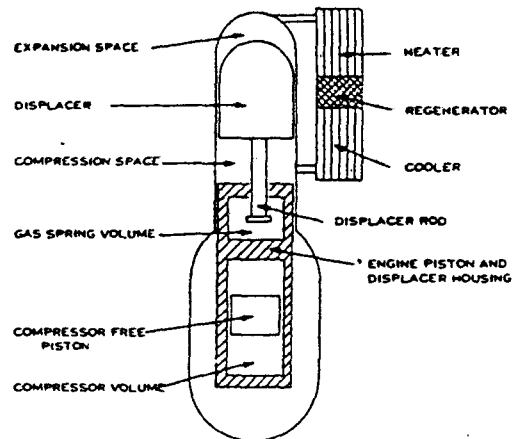


Fig. 9. Free-piston Stirling engine (FPSE) concept.

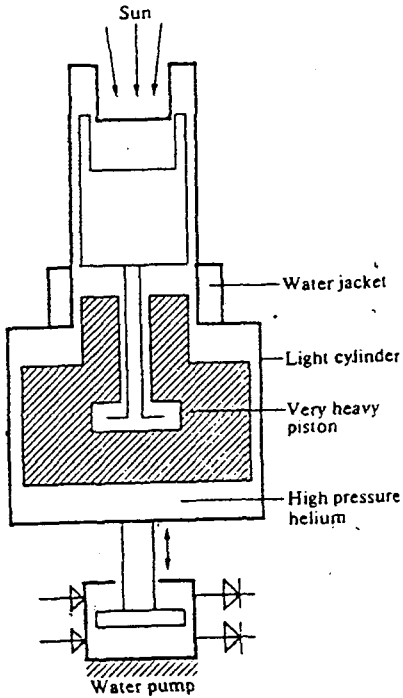


Fig. 10. The free-cylinder Stirling engine.

3) 액체에 의한 구동(liquid coupling) : 전술한 스티얼링 기관은 모두 고체인 피스톤과 디스플레서의 운동에 의해, 팽창 및 압축공간의 체적이 변화되나 이 형식은 액체 기둥(liquid columns)의 유동에 의해 이루어지는 것으로서 Fluidyne 방식이라고 한다. 이 원리를 그림 11에 나타내었다(West, 1983).

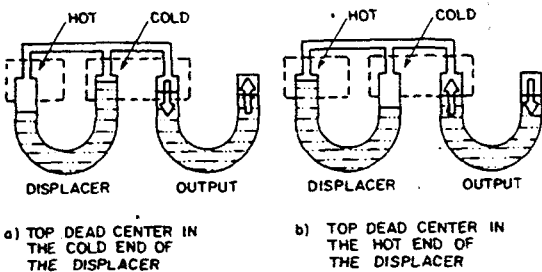


Fig. 11. Basic operation of the fluidyne.

기본적인 장치는 2개의 U자형관이 그림에서와 같이 1개의 팽창공간과 1개의 압축공간에 각각 연결되어 있다. 좌측의 U자형관은 디스플레서의 기능을 하고, 우측의 U자형관의 한쪽은 대기에 노출되어 있으며 피스톤의 역할을 한다. 또

한 피스톤 역할을 하는 물기둥위의 각 공간에는 공기가 들어있다. 이와같은 형식의 기관은 실린더 배열형태에 의해 분류할 경우 γ 형식에 속한다. 그림의 (a)에서와 같이 좌측 U자형관의 한쪽단을 가열하고 다른 한쪽단을 냉각하면 각 공간에 있는 공기는 팽창, 압축하여 물기둥이 압축공간의 상사점에 오게되고, 우측 U자형관내의 물기둥이 화살표방향으로 이동하면서 일을 한다. 반대로 그림의 (b)에서와 같이 물기둥이 압축공간의 하사점에 오게 되면 모든 작동유체가 압축공간으로 유동하여 압력이 감소하고 따라서 우측 U자형관내의 물기둥이 화살표방향으로 이동한다. 이 기관의 경우 출력측 물기둥의 운동은 상부공간의 작동유체의 압력차에 의해 강제운동(forced oscillation)을 하나 디스플레서측 물기둥의 운동은 상부공간에 압력차가 없기때문에 자유운동(unforced oscillation)을 한다. 이와 같

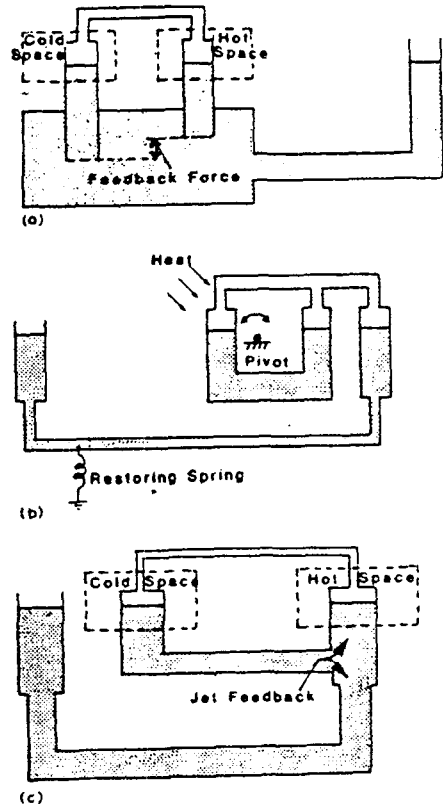


Fig. 12. The method of feedback in fluidyne.

- (a) Pressure feedback fluidyne.
- (b) Rocking beam fluidyne.
- (c) Jet-stream fluidyne.

은 기관이 안정상태에서 연속적인 작동을 하기 위해서는 피드백(feedback)이 요구되고, 이를 위해서 그림12와 같은 3가지 방법이 사용된다.

그림12의 (a)는 팽창공간의 물기둥(hot column)과 압축공간의 물기둥(cold column)의 길이를 다르게하여 피드백을 얻는 방법으로서 이것을 Pressure feedback fluidyne이라 하고, (b)는 기관 전체를 피봐(pivot)위에 장착한 것으로서 이것을 Rocking beam feedback이라 부른다. 피스톤역할을 하는 물기둥이 좌우로 움직일 때 무게중심의 이동에 의해 기관전체가 흔들리고 이로인해 디스플레이서 역할을하는 물기둥이 계속해서 움직이도록 한 형식이다. 또한(c)는 압축공간이 제트류(jet stream)와 연결되어있고 팽창공간의 물기둥과 압축공간의 물기둥 아래에서 분류된다. 팽창공간의 물기둥이 하향운동 할때 액체가 압축공간으로 유입되어 압축공간의 물기둥이 상향운동을하고, 반대행정에서 액체가 팽창공간의 물기둥으로 들어가서 압축공간의 물기둥을 가속시킨다. 이와같은 상하 행정에 의해 제트류의 효과가 얻어진다. 이것을 Jet-stream fluidyne이라한다.

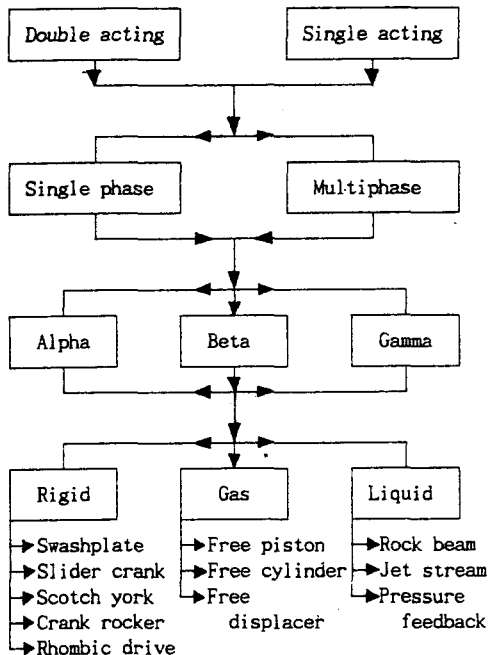


Fig. 13. Suggested classification system.

이상에서 분류한 스터얼링기관을 다이어그램으로 도시하면 그림13과 같다. 이것은 단순히 기관의 분류 혹은 정의 뿐만아니라 어떤 새로운 기관의 설계시 기관형식을 선정하는데도 이용할 수 있다.

6. 참고문헌

1. 진호근. 1990. 공업열역학, 대광서림. 서울 pp. 375~376
2. 本多潤一. 1986. 太陽電池の基礎, 日本農業機械學會 關東支部 세미나 資料, PP.13~22
3. Graham, T.R. and C.Hopper. 1983. Stirling engines. Cambridge university press. London, pp.4~5
4. Martini, W.R. 1982. Whence Stirling Engine. Proc. of the 17th IECEC : 1669~1674.
5. Renfroe, D.A. and C.Mark. 1986. Comparison of analysis techniques for a two phase two component Stirling engine. Proc. of the 21th IECEC : 545~549.
6. Spigt, C.L. and A.Daniels. 1975. The philips Stirling engine. Proc. of the 10th IECEC : 919~926.
7. Urieli, I. and D.M. Berchowitz. 1984. Stirling cycle engine Analysis. Adam Hilger Ltd. Bristol, pp.1~19
8. Walker G. 1980. Stirling engines. Clarendon press. London, pp.11~19
9. West, C.D. 1983. Liquid piston Stirling Engines. VNRpress. New york, pp.10~30