

WANKEL ENGINE의 三角回轉子の 꼭지점 運動에 關한 機構學의 分析

Kinematic Analysis of the Triangular Rotor's Mechanism of Wankel Engine

宋 鉉 甲
Hyun Kup Song

I. 序 論

獨逸에서 처음으로 개발된 回轉式 Piston 內燃機 關은 構造的으로 往復 피스톤機關과 다르다. 이 Engine은 獨逸사람 Felix Wankel이 考案하였으며 1956년에 처음으로 제작자들에 의하여 Model Engine을 만들어 實驗하였다. 이 Engine은 Cylinder 內에서 上, 下로 움직이는 Piston代身, 等邊三角形으로 된 Rotor를 가지고 있으며 1個의 Rotor가 往復機關에서 3個의 Piston과 같은 역할을 한다. 이 Rotor는 閉鎖된 氣筒 속에서 回轉하며 Rotor의 3個의 꼭지점은 chamber 內側曲面上에서 연속적인 미끄럼 接觸運動을 한다. 機構學的으로 氣筒의 內側曲面은 epicyclic 曲面을 이루고 있으며 Rotor의 曲面과 氣筒의 內側曲面 사이에 3個의 초생달 모양의 작은 空間을 形成한다.

이 各空間의 體積은 Rotor 運動에 따라 變化 한다 casing의 中心軸에 對하여 回轉하는 Rotor 中心의 軌跡은 그 中心軸에 對하여 圓을 그려야한다. 이 運動은 內接 gear와 cylinder 中心에 固定되어 있는 Pinion이 3對2의 齒數比를 가지고 內接 gear만이 運動하므로써 이루어 진다. 回轉軸과 편심되어 있는 Rotor中心 사이에 작은 크랭크가 있어서 氣體壓力이 發生할때 回轉偶力이 形成된다.

이 偶力에 의하여 Rotor의 꼭지점인 Apex seal은

큰 速度로 cylinder 곡면상을 미끄럼운동을 하게 되므로 이 接觸點과 運轉은 문제가 되고 있다. 이와같이 問題가 되고 있는 Apex seal을 中心으로 하여 Wankel Engine의 根本이 되는 cylinder 曲面인 Apex seal의 軌跡曲線 方程式을 誘導하고 그곡선과 三角回轉子(Rotor)의 各部치수와의 關係와 Apex seal의 運動을 機構學的으로 分析하고자 한다.

II. Wankel Engine의 構造와 作動原理

1. 構 造

Fig. 1에서 보는 바와같이 回轉軸에 강결되어 있는 軸齒車A는 三角回轉子 內部에 장치된 內側齒車 B와 맞물고 있으며 piston 역할을 하는 三角回轉子는 軸齒車 A와 齒車 B가 內接하여 편심回轉運動을 한다. 軸齒車 A와 內側 gear B의 齒數比가 3:2일 때 回轉子와 回轉軸과의 角速度比는 3:1이 된다. 그이유는 앞으로 유도될 數式에서 찾아 볼수있다.

多曲面으로된 氣筒은 冷却水의 순환을 爲한 水管으로 둘러 쌓여 있으며 上位部에는 plug가 있어 電氣점화식 機關으로 되어있다.

三角形으로된 回轉子の 세 꼭지點들은 氣筒 曲面에 接觸하여 큰 速度를 가지고 미끄럼 運動을 하게 되므로 재질이 강한 몰라(Roller)를 장치하여 구름 接觸運動을 하도록되어 있다.

燃料과 空氣의 混合 gas와 潤滑유가 같은 cylinder

* 忠北大學 機工學科

內를 通過하게 되므로 이 部分의 潤滑이 어렵다.

2. 作動原理

Fig 1. 에서 三角回轉子의 三面을 ①, ②, ③으로 提示하면 表示 ①은 下死點에 位置하고 있으며 배기 및 흡입공과 近接하고있다. 이 位置를 起點으로 하여

◎ 크랭크軸이 90° 回轉할때 三角形의 回轉子는 30° 回轉하게 되며 吸込過程이 始作된다.

◎ 크랭크軸이 270° 回轉할 때 回轉子는 90° 回轉한다.

◎ 크랭크軸이 360°(1回轉) 回轉할때 回轉子는 180° 回轉하게 되어 最大로 壓縮된 燃料空氣 混合 gas는 플라그(plug)에 依하여 點화된다.

◎ 크랭크軸이 720°(2回轉) 回轉할때 回轉子 240° 回轉하여 動力過程을 밟으며 열려있는 排氣孔에 接近한다.

◎ 크랭크軸이 3回轉할때 回轉子는 1回轉하게 되며 排氣過程을 이룬다. 이렇게하여 ①面은 出發點에 다시 돌아와 吸込過程에 들어갈 순간에 놓이게 되며 1 cycle이 完成된다. 回轉子가 1回轉하는 동안 ②面과 ③面도 같은 過程을 밟는다. 그러므로 回轉子가 1回轉하는 동안 三面의 動力過程이 이루어진다. 다시 말해서 크랭크軸이 三回轉하는 동안 三回의 動力을 공급받게 되므로 크랭크軸을 中心으로 보면 1回轉 한번씩 動力을 받게 되므로 三角回轉子로된 回轉子를 가진 Wankel Engine은 四行程 싸이클로 된 二氣筒往復 Engine과 같은 數의 動力過程을 밟게 된다.

이 Engine의 長點으로는 往復機關에 比하여 約 38%나 적은 부속을 갖고 있으며 馬力當 機關 무게는 15~30% 가 가벼우므로 휴대用으로 便利하다. Rotor가 回轉運動을 하기 때문에 往復運動을 하는 피스톤機關에서 보다 動的 不均衡이 적으므로 振動이 적으며 부분品이 적게 所要되므로 生産費가 적게 든다. 作動中 騒音이 적고 低負荷 高速에서 유리하다. 그러나 低速 高負荷에서 不利하다.

그밖의 短點으로는 多曲面인 氣筒벽과 接觸하는 三角回轉子의 꼭지點인 Apex seal의 壽命과 그點이 高速으로 運動할때 氣筒曲面과 Apex seal 사이에 潤滑이 問題가 된다. 低速高負荷로 使用하기 어렵고 Wankel Engine은 往復機關보다 더 많은 燃料을 소비하는 것이 큰 결점이다. 그러므로 이 Engine은 大型農用트랙터의 動力源인 Diesel 往復 Engine이나 燃料 節約의 必要性이 절실한 産業機械의 高負

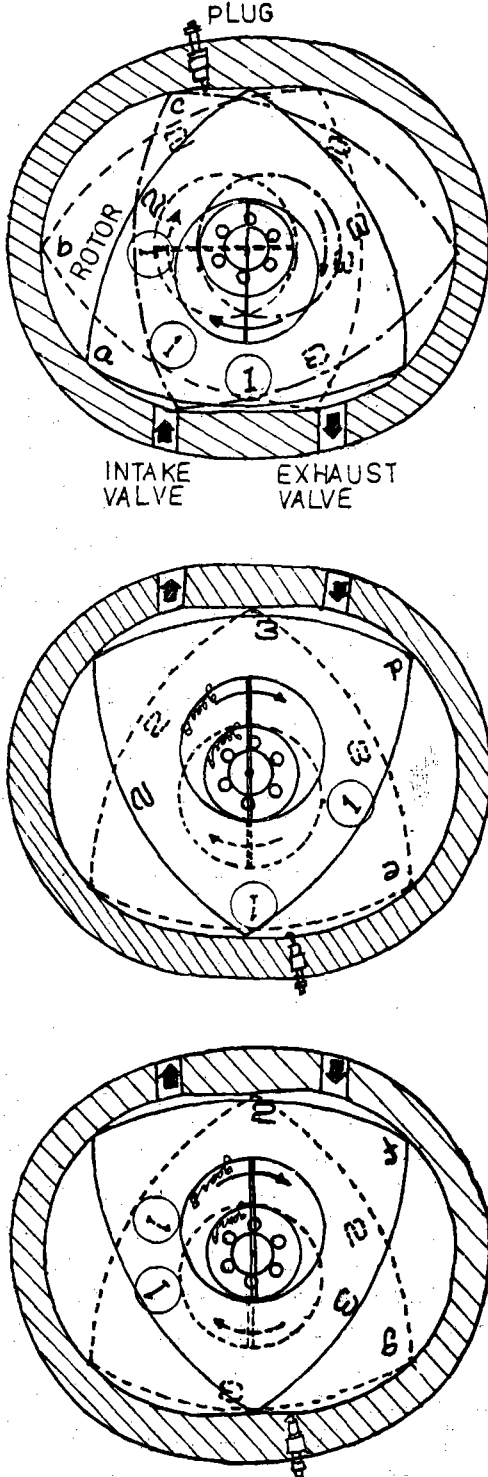


Fig 1. The mechanism and operating Processes of WANKEL Engine

荷 Engine 과 대치하기에는 어려운 것으로 判斷되고 있으나 高速低負荷의 農工 作業用 Enging으로 利用하게 될것이며 外國에서는 이에 關한 많은 研究가 進行中에 있다.

II. Wankel Engine 回轉子의 Apex seal 運動에 對한 理論的 分析

1. 氣筒윤곽곡선의 理論式誘導

Fig 2. 에서 보는바와 같이 軸齒車 A의 中心을 基準으로 水平, 垂直을 各各 x,y 軸으로 하고 回轉軸에 對하여 回轉하는 O,O의 回轉角變位를 ϕ , Rotor 中心 O_1 과 Rotor 꼭지점 a를 연결하는 直線과 O_1 과 gear B,A의 接點 O_2 를 연결하는 直線 사이의 각 ($\angle O_2O_1a$)를 γ 라 하면 O_1a 와 x軸과 이루는 角은 $\phi-\alpha$ 가 되며, $\phi-\alpha=\theta$ 로 하면 θ 는 Apex seal의 回轉角變位가 된다. 그러므로 接點 O_2 는 Rotor 回轉方向으로 移動한다. 回轉子의 內側 齒車 B의 Pitch圓의 半徑을 R, 고정 Pinion(or gear) A의 齒輪의 半徑을 r, 內接齒車 B의 齒輪에서 Rotor의 꼭지점 a까지의 最短距離를 e라하면 Apex seal a의 變位式은 다음과 같이 誘導되며 다른 Apex seal b,e도 같은 變位式을 갖는다.

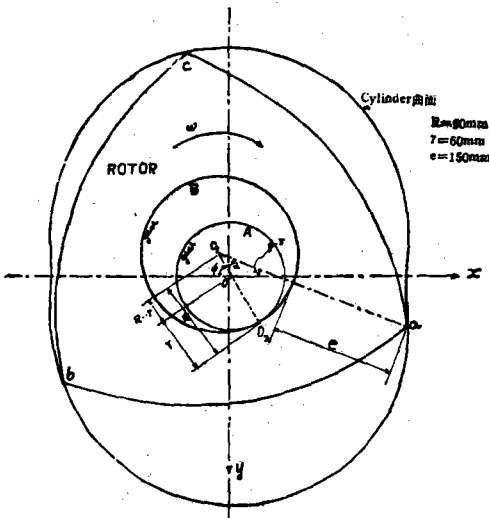


Fig 2. Wankel Engine의 三角回轉子의 運動構造圖

$$\left. \begin{aligned} x &= (R+e)\cos(\phi-\alpha) - (R-r)\cos\phi \\ y &= (R+e)\sin(\phi-\alpha) - (R-r)\sin\phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ①$$

$$\text{그림(2)로부터 } \gamma \cdot \phi = R \cdot \alpha, \therefore \phi - \alpha = \frac{R-r}{R} \cdot \phi \dots\dots\dots ②$$

②式을 ①式에 代入하면,

$$\left. \begin{aligned} x &= (R+e)\cos\frac{R-r}{R}\phi - (R-r)\cos\phi \\ y &= (R+e)\sin\frac{R-r}{R}\phi - (R-r)\sin\phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ③$$

③式을 極좌표로 表示하면

$$\begin{aligned} \rho &= (x^2+y^2)^{\frac{1}{2}} \text{의 關係로 부터} \\ \rho &= \left[(R+e)^2 + (R-r)^2 - 2(R+e)(R-r)\cos\frac{r}{R}\phi \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots ④ \end{aligned}$$

2. Apex seal a의 線速度 分析

③式을 時間 t로 微分하면,

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= v_x = \left[-(R+e)\left(\frac{R-r}{R}\right)\sin\frac{R-r}{R}\phi + (R-r)\sin\phi \right] \frac{d\phi}{dt} \\ \frac{dy}{dt} &= v_y = \left[(R+e)\left(\frac{R-r}{R}\right)\cos\frac{R-r}{R}\phi - (R-r)\cos\phi \right] \frac{d\phi}{dt} \end{aligned}$$

여기서 $\frac{d\phi}{dt} = \omega$: 角速度當, 윗式을 다시 쓰면,

$$\left. \begin{aligned} V_x &= \left[-(R+e)\left(\frac{R-r}{R}\right)\sin\frac{R-r}{R}\phi + (R-r)\sin\phi \right] \omega \\ V_y &= \left[(R+e)\left(\frac{R-r}{R}\right)\cos\frac{R-r}{R}\phi - (R-r)\cos\phi \right] \omega \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑤$$

3. Apex seal a의 合成加速度 分析:

⑤式을 時間 t로 다시 微分하면

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} &= a_x = \left[-(R+e)\left(\frac{R-r}{R}\right)^2\cos\frac{R-r}{R}\phi + (R-r)\cos\phi \right] \omega^2 \\ \frac{dv_y}{dt} &= a_y = \left[-(R+e)\left(\frac{R-r}{R}\right)^2\sin\frac{R-r}{R}\phi + (R-r)\sin\phi \right] \omega \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑥$$

④式은 Apex seals의 軌跡인 cylinder의 윤곽 曲線式이다. 이 式에서 보여주고 있는 바와 같이 cylinder 윤곽곡선은 R,r,e에 따라 그모양이 變化된다.

Apex seal a, b, c는 ④式에 依하여 주어지는 cylinder 曲線上을 움직인다.

그러나 Apex seal의 線速度는 角變位 ϕ 에 따라 一定하지 않은것을 構造上으로 알수 있다. 이렇게 미루어보아 Apex seals a,b,c는 加速度를 갖이며 ⑥式은 이 加速度를 表示하고 있다.

IV. 理論的 分析結果

1. Wankel Engine의 Apex seal의 接觸速度와 合成加速度

cylinder 曲面위를 움직이는 三角回轉子の 꼭지點인 Apex seal의 接觸速度와 合成加速度는 앞에서 誘導한 ⑤, ②式과 같다.

이식에 $R=90\text{mm}$, $r=60\text{mm}$, $e=150\text{mm}$ 를 各各 代入하고 角 ϕ 를 變化시키면 그림(3)과 같은 週期曲線이 된다. Apex seal a 가 初速을 가지고 x 軸을 基準으로 90° 回轉할때 그線速度와 合成加速度는 同時에 最大가 되었고 180° 回轉할때 이들 역시 같은 時期에 最小가 되었다. 回轉軸의 角速度를 $\omega=1, 200\text{Rpm}$ 으로 一定하게 하였을때 回轉子の 꼭지點 Apex seal의 最大線速度는 13.816m/sec , 最小値는 6.280m/sec 이고 最大合成加速度는 894.463m/sec^2 , 最小値는 52.584m/sec^2 이며 이들 最大 및 最小値는 모두 plus 領域內에 存在하였다. 이와같이 線速度와 線加速度는 週기가 같고 位相이 같은 週期函數 曲線을 이룬다.

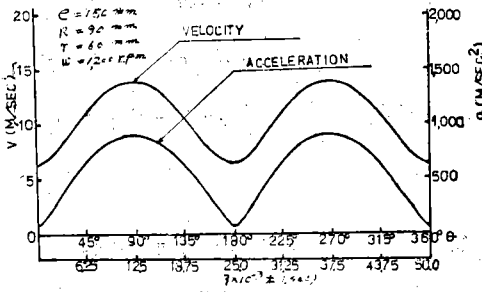


Fig 3. Wankel Engine의 回轉子 꼭지點의 線速度와 線加速度

2. e값과 cylinder 윤곽곡선과의 關係

$R:r=3:2$ 로 一定하게 하고 e 값을 50mm , 100mm , 150mm 로 變化시켜줌에 따라 앞에서 誘導한 cylinder 윤곽곡선의 理論式 ① 혹은 ④式은 Fig 4와 같이 여러가지 모양의 cylinder 윤곽 곡선들을 그린다. e 값이 작을때는 變曲部位의 曲率이 작아지며 e 가 커짐에 따라 變曲部位의 曲率이 커져서 全體의인 윤곽곡선이 圓滑 해진다.

作動面에서도 $e=50\text{mm}$ 일때는 氣筒 曲面이 他에 比하여 圓滑하지 못하며 壓縮比를 最大로 增加시키는데 防害가 되는 것은 물론 三角回轉子運動이 圓滑 하지 못하다.

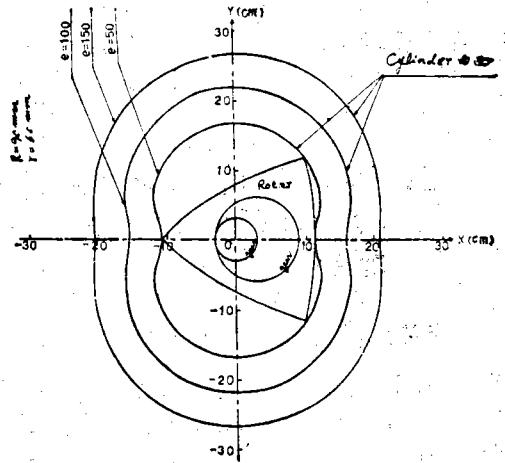


Fig 4. e값에 따른 Wankel Engine의 Cylinder 윤곽 곡선

$e=100\text{mm}$ 일때는 $e=50\text{mm}$ 인 경우보다 氣筒 윤곽곡선이 약간 圓滑해졌으며, $e=150\text{mm}$ 일때는 $e=50\text{mm}$ 인 경우보다 훨씬 圓滑하며 三角回轉子 運動에 무리가 적어질뿐만 아니라 壓縮比를 크게 할수 있어서 機關 效率를 높일수 있다. 그러므로 e 값의 크기에 따라 윤곽곡선의 모양이 달라지고 回轉子の 速度와 加速度에도 많은 영향을 줄것으로 思料되어 아래에 分析제시 한다.

3. e값의 크기와 Apex seal의 線速度와의 關係

R 와 r 을 一定하게 하고 e 값의 크기를 달리함에 따라 多曲面으로된 氣筒윤곽곡선이 달라지는 것은 앞에서 관찰한바와 같으며 이에따른 回轉子の 꼭지點인 Apex seal의 線速度는 回轉角速度 $\omega=1, 200\text{Rpm}$ 으로 할때 Fig 5 같이 e 값이 커짐에 따라 線速度는 커졌으나 角變位에 따른 速度變化率은 最

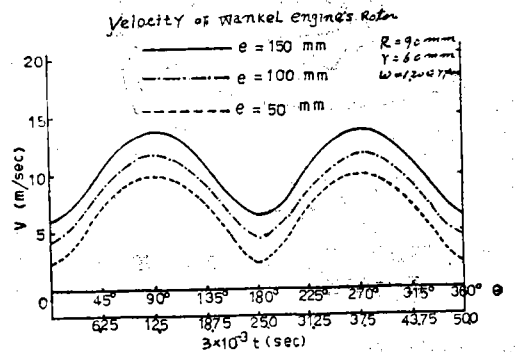


Fig 5. e값에 따른 Apex seal의 線速度

低速度가 일어나는 部分에서는 e 값에 反比例하여 작아졌고 最大速度가 일어나는 極點에 接近할수록 速度增加率은 e 값에 比例하여 컸다. 다시말해서 e 값의 變化에 따라 많은 영향을 받는 氣筒 變曲部에서는 e 값이 작아짐에 따라 反比例하여 速度變化率이 컸고 圓滑한 氣筒曲面部에서는 e 값이 작아짐에 따라 比例해서 速度變化率이 작아졌다.

Fig 6에서 보여주고 있는바와 같이 e 값을 크

4. e 값의 크기와 Apex seal 의 合成 加速度와의 關係

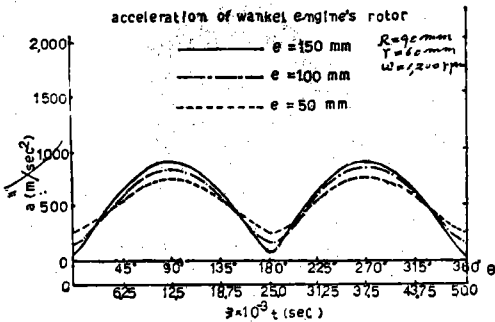


Fig 6. e 값에 따른 Apex seal 의 線加速度

게함에 따라 Apex seal 의 線加速度의 最小値는 減少하였고 그 最大値는 增加하였다. 바꾸어 말하면 e 값이 작을 때는 加速度의 變化幅이 적었으며 e 값이 클 때는 그 變化幅이 컸다. 回轉子의 回轉角 $25^\circ \sim 35^\circ$, $145^\circ \sim 155^\circ$, $205^\circ \sim 215^\circ$, $325^\circ \sim 335^\circ$ 부근에서는 加速度가 서로 같은 값을 갖는다.

V. 結 論

- 1) Wankel Engine 에서 $r:R=2:3$ 일때 三角回轉子의 1回轉當 三回의 動力過程이 일어 나므로 回轉軸은 每回轉當 1回動力을 공급받는다.
- 2) Wankel Engine 의 cylinder 윤곽곡선은 ③式 혹은 ④式으로 表現된다.
- 3) Wankel Engine 의 Apex seal 線速度와 線加速度는 ⑤, ⑥式과 같이 週期와 位相이 같은 週期函數였으며 그 最大 最小値는 항상 正直이었다.
- 4) 回轉子의 內接 gear 와 回轉軸 gear 의 直徑이 各各 $R=90\text{mm}$, $r=60\text{mm}$ 인 경우 $e=150\text{mm}$ 로 할 때 回轉子가 가장 圓滑한 回轉運動을 할수 있는 氣筒曲面을 이루었다.