

Technical Paper

DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2017.21.4.071>

## Separate Type Rotary Engine 개발

기덕종<sup>a,b,\*</sup> · 최희주<sup>b</sup>

### Development of a Separate Type Rotary Engine

Dockjong Ki<sup>a,b,\*</sup> · Heeju Choi<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Department of Mechanical Engineering, WonKwang University, Korea

<sup>b</sup>Future Strategic Research Center, Firstec Co., Ltd., Korea

\*Corresponding author. E-mail: [dj\\_ki@fst.foosung.com](mailto:dj_ki@fst.foosung.com)

#### ABSTRACT

New concept rotary engine initial prototype has been developed. Engine motoring, compressor pressure and fuel combustion were tested for engine mechanism and operability check. Merits and demerits, applicable areas of the engine have been investigated against reciprocating and Wankel rotary engines. It was found that this engine is best fit for small aircraft and it is better than existing engines for motorcycle, portable and hybrid car Genset too.

#### 초 록

새로운 개념의 로터리엔진 초기 프로토타입을 제작하고 작동성 확인을 위한 모터링, 압축기 압력 및 연료 연소시험을 수행하였다. 기존 피스톤 엔진 및 반켈 로터리엔진과의 비교 분석을 통해 이 신개념 로터리엔진의 장·단점과 활용분야를 조사한 결과 이 엔진은 소형 항공기에 가장 적합하고, 이륜차와 휴대용 및 하이브리드 자동차용 Genset에도 기존 엔진보다 적용성이 더 좋을 것으로 파악되었다.

Key Words: Separate Type Rotary Engine(분리형 로터리 엔진), Atkinson Cycle(앳킨슨 사이클), Over-expanded Cycle(과팽창 사이클), Compressor(압축기), Expander(팽창기)

#### 1. 서 론

중형 이상의 대부분 항공기에 사용되는 가스 터빈엔진은 초기 구입비용 과다, 낮은 연료 효

율, 프로펠러 구동을 위한 높은 회전비 기어박스 소요 등의 문제로 소형 항공기에는 잘 사용되지 않는다. 농업 방제용 무인 헬기와 같은 무인기나 소형 항공기의 동력원으로는 주로 왕복동 피스톤엔진이나 반켈 로터리엔진이 사용되지만 두 엔진 모두 항공기 적용에 장점과 함께 단점을 갖고 있어 최적 엔진이라 할 수 없다. 왕복동 피스톤엔진은 연료 효율과 내구성 측면에서 장점이 있는 반면 단위 출력 당 무게나 부피가 커

Received 18 January 2017 / Revised 2 March 2017 / Accepted 8 March 2017

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2016년도 추계학술대회(2016. 12. 21-23, 강원랜드 컨벤션호텔) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

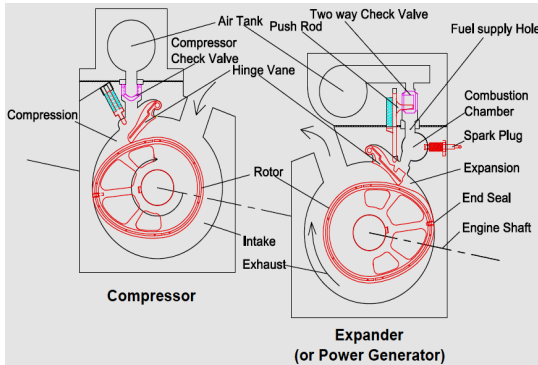


Fig. 1 SRE structure.

항공기 장착에 많은 제약을 주고, 반켈 로터리엔진은 반대로 단위 출력 당 무게나 부피가 작은 장점이 있으나 연료효율이 낮고 엔진 수명이 짧은 단점이 있다.

소형 항공기에서도 상대적으로 큰 항공기에는 왕복동 피스톤엔진이 주로 사용된다. 항공기용 왕복동 피스톤엔진도 기본적인 구조는 자동차 등에 사용되는 지상용 엔진과 동일하나 기어박스과 프로펠러를 장착하고 높은 고도 환경에서 운용될 수 있도록 윤활, 엔진 콘트롤, 터보차저 등 관련 장치가 보완 된다. 자동차용 엔진을 이용하여 항공용으로 개조 개발하는 경우도 있고 [1] 처음부터 항공용 엔진으로 개발하는 경우도 있으나 항공용 왕복동 피스톤엔진 개발 소요 기술은 이미 성숙단계에 있어 신기술 개발 활동은 극히 제한적이다.

항공용 반켈 로터리엔진은 출력이 100마력을 넘는 경우도 있지만 30~60마력 출력이 필요한 항공기에 주로 쓰이고 낮은 신뢰성 문제로 인하여 유인기 보다는 무인기용으로 더 많이 사용되고 있다. 반켈 로터리엔진의 낮은 신뢰성과 짧은 수명은 주로 에이펙스 실(Apex Seal)과 윤활 문제에 원인을 두고 있어 이들을 해결하기 위한 기술개발에 연구 활동이 집중되고 있으나 이들 문제가 엔진 자체의 작동구조에 기인하고 있어 좀처럼 해결방안이 나오지 않고 있다[2]. 반켈 로터리엔진의 개발에 가장 많은 인적, 물적 자원을 투자하여 최고의 기술력을 보유한 마쓰다 자동차의 경우에도 자사 스포츠카에 반켈 로터리엔

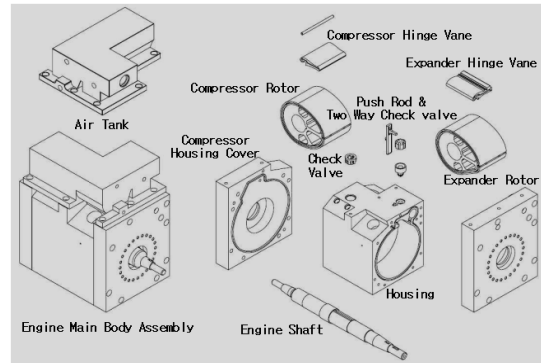


Fig. 2 SRE core components.

진을 사용하다 연비와 수명, 그리고 배기가스 환경 문제로 2012년부터 사용을 중단하였다[3,4].

신개념 로터리엔진은 두 종류 엔진의 장점을 취하고 단점을 보완한 것으로 소형 항공기 적용에 최적 조건을 갖추고 있으며, 지상 혹은 해상 장비용으로도 장점이 많아 기존 엔진을 대체할 수 있을 것으로 보인다. 본 논문에서는 신개념 로터리엔진의 구조를 살펴보고 이 엔진이 왕복동 피스톤엔진과 반켈 로터리엔진과 비교해 어떠한 장점들이 있는지와 활용성에 대해 논의하고자 한다.

## 2. SRE 구조 및 작동 메카니즘

### 2.1 구조

본 엔진은 Fig. 1과 같이 압축기(Compressor), 공기탱크(Air Tank), 연소실(Combustion Chamber), 팽창기(Expander)로 구성된다. 압축기와 팽창기가 분리되어 있어 Separate type Rotary Engine, 줄여서 SRE로 칭한다. 압축기와 팽창기는 각각 하우징(Housing), 로터(Rotor) 및 힌지베인(Hinge Vane)의 조합으로 만들어지며, 두 로터는 하나의 엔진 축(Engine Shaft)에 앞뒤로 조립된다(Fig. 2). 힌지베인은 하우징 상단에서 한쪽 끝부분에 회전축을 가지고 있고 다른 끝은 공기압에 의해 로터에 항상 밀착하도록 되어 있다. 압축기와 팽창기 각각의 하우징과 로터 사이 내부 공간이 로터 끝단의 end seal과 힌지

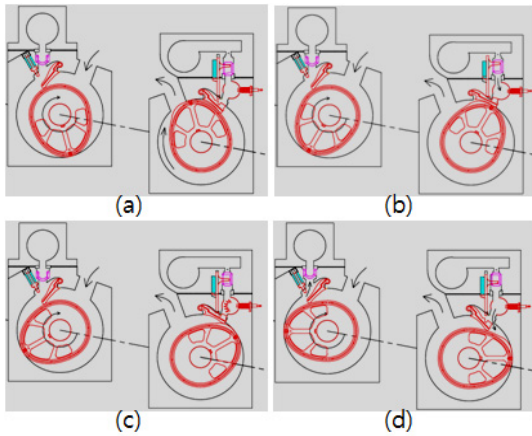


Fig. 3 SRE operation mechanism.

베인에 의해 2개의 공간으로 나누어지고 이들 공간은 Fig. 1에 표시된 것처럼 압축기에서는 흡입(Intake) 및 압축(Compression)공간, 팽창기에서는 팽창(Expansion) 및 배기(Exhaust)공간이 된다. 팽창기 하우징은 연소실을 포함하고 있으며 압축공기가 연소실로 제때 공급될 수 있도록 밀대(Push Rod)와 양방향 체크밸브(Two Way Check Valve)가 구비되어 있다[5].

2.2 작동 메커니즘

압축기에서는 로터가 회전하면서 확장되는 흡입공간으로 흡입구를 통해 공기가 유입되고 축소되는 압축공간에서는 공기가 압축되어 체크밸브를 통해 공기탱크에 저장된다(Fig. 3(a), (b), (c), (d) 압축기 참조).

팽창기에서는 연소가스의 압력을 받아 엔진 축을 회전시키는 역할과 함께 힌지베인의 캠 역할도 하는 팽창기 로터가 회전하면서 힌지베인을 밀어 올려 연소실을 밀폐된 공간으로 닫을 때 힌지베인에 들러 올라가는 밀대에 의해 양방향 체크밸브가 열리면서 공기탱크의 압축공기가 연소실로 유입된다(Fig. 3(a), (b) 팽창기 힌지베인, 밀대, 양방향 체크밸브 참조). 압축공기의 연소실 유입이 완료되는 시점에서 연소실에 연료를 분사한 다음 점화장치로 혼합기를 폭발시켜 고온 고압의 연소가스를 만들고, 로터 회전이 진행되면서 힌지베인이 연소실을 열 때 연소가스

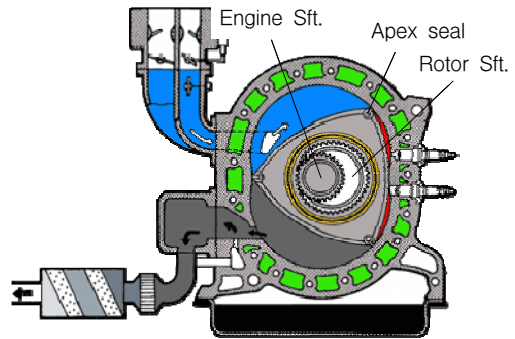


Fig. 4 Wankel rotary engine structure.

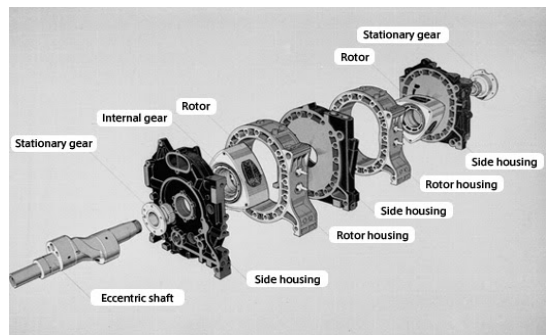


Fig. 5 Wankel rotary engine core components.

가 팽창공간으로 배출되면서 로터를 회전시켜 동력을 발생시킨다(Fig. 3(c), (d) 팽창기 연소실, 힌지베인 참조).

3. 반켈 로터리엔진과 비교

3.1 반켈 로터리엔진 구조

반켈 로터리엔진은 Fig. 4와 같이 누에고치(Cocoon) 형태의 하우징 내부에 삼각형 모양의 로터가 들어 있고 하우징과 로터 사이의 공간은 로터의 삼각형 꼭지점에 있는 에이펙스 실과 로터 하우징(Rotor Housing)의 접촉에 의해 3개의 닫힌 공간으로 분리되는 형상이다. 이 3개의 닫힌 공간은 로터 회전위치에 따라 흡입공간, 압축공간, 연소실, 팽창공간 및 배기공간이 된다.

반켈 로터리엔진의 특징 중의 하나는 로터 회전축과 엔진 회전축이 일치하지 않는다는 점이

다. 엔진 회전축은 엔진의 중심 위치에 고정되어 있으나 로터 회전축은 고정된 엔진 회전축 주위를 위성처럼 회전하고, 로터는 이렇게 움직이는 축을 중심으로 하우징 내에서 회전운동을 한다 (Fig. 5의 Eccentric Shaft 참조). 그 결과 로터가 회전하는 동안 에이펙스 실과 하우징의 접촉이 90도를 유지하지 못하고 60도에서 120도 사이에서 지속적으로 변한다.

반켈 로터리엔진에서 에이펙스 실 윤활을 위한 오일은 하우징 내에 직접 분사되거나 2행정 왕복동 피스톤엔진과 유사하게 연료에 섞여 공급되므로 오일이 연료와 함께 연소되어 배기가스로 배출된다[6,7]. 이렇게 연소되어 소모되는 반켈 엔진의 윤활유는 배기가스의 환경오염 문제를 발생시키므로 오일 공급양에 제한을 주게

되고 이는 엔진의 수명과 성능을 저하시키는 요인이 된다.

3.2 반켈 로터리엔진과 SRE의 비교

반켈 로터리엔진의 낮은 효율, 수명 및 신뢰도 문제는 주로 앞에서 설명한 로터의 회전 구조에 기인한 불안정한 에이펙스 실 거동과 제한된 윤활유 공급에 기인한다. 이러한 거동은 에이펙스 실 진동을 유발하여 Fig. 6과 같이 하우징 내면에 chatter mark를 만들고 이로 인해 실(Seal) 효과가 감소되면서 엔진 효율과 출력이 저하되고 결국 엔진이 고장에 이르게 된다[6].

반면, 왕복동 피스톤엔진의 경우 Fig. 7(a)와 같이 피스톤 링이 실린더와 90도를 유지하면서 상하운동을 하므로 로터리엔진과 같은 chatter mark를 만들지 않고 이로 인한 문제가 발생하지 않는다. SRE의 경우도 로터 회전축이 엔진 축과 일치하여 로터가 고정된 축을 중심으로 회전함에 따라 Fig. 7(b)와 같이 로터 end seal이 하우징 내면과 항상 90도를 안정적으로 유지하므로 반켈 로터리엔진과 같은 chatter mark를 만들지 않는다.

SRE 팽창기의 경우 윤활유를 힌지베인 전단에서 힌지베인과 로터의 접촉점에 공급하면 힌지베인과 로터사이의 윤활과 기밀을 향상시키고 힌지베인을 냉각하는 역할도 한다. 또, 로터가 회전하면서 로터 end seal에도 윤활유가 자동적

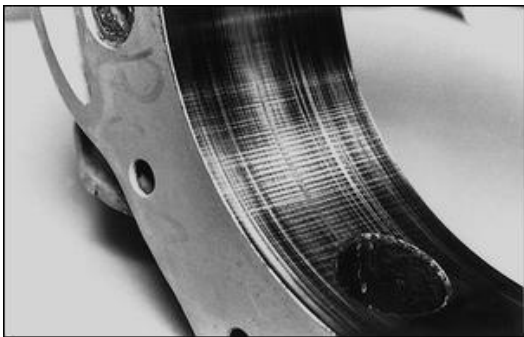


Fig. 6 Chatter mark on a rotor housing inner surface of an wankel rotary engine.

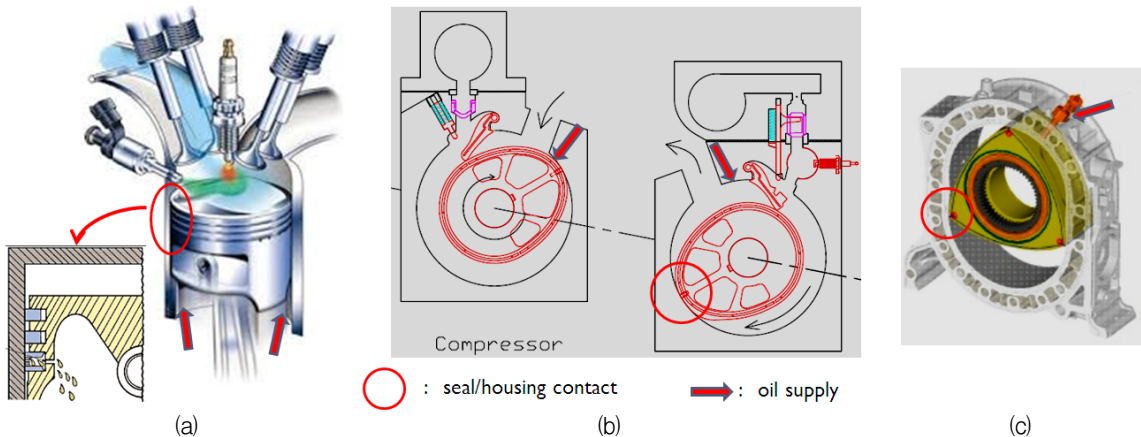


Fig. 7 Comparison of engine seals and lubrication methods.

으로 공급되게 되므로 end seal을 위한 별도의 윤활유 공급장치가 필요 없게 된다. SRE에서는 연소실이 로터 end seal의 이동선상에서 완전히 분리되어 있어 윤활유의 연소실 유입이 차단되므로 윤활유의 연소문제가 근본적으로 방지되며, 따라서 윤활유 공급에 제한이 없게 되고 엔진의 내마모성 및 기밀 유지가 용이하게 된다.

#### 4. 초기 프로토타입 SRE 시험결과

SRE 초기 프로토타입(Fig. 8)은 연료, 윤활, 냉각, 엔진 콘트롤 등 엔진 부체계 장치를 구비하지 않아 정량적인 엔진 성능을 측정하기에 미흡한 수준이었지만 엔진 본체의 메카니즘 작동성과 압축기, 연소실, 팽창기의 초기 기능을 점검하여 유용한 정보를 확보하기에는 충분하였다.

시동 모터를 이용한 SRE 모터링 시험은 기대했던 바와 같이 엔진에 진동이나 충격이 거의 없는 부드러운 회전 특성을 보여주었다. 엔진 흡입구 및 배기구를 통해 윤활유를 일회성으로 공급하고 모터링하면서 측정한 압축기 압력은 약 7.5 bars로 설계상 목표로 하였던 20 bars보다는 매우 낮았지만 초기 엔진의 낮은 정밀도, 정교하지 못한 초기 실(Seal) 형상 적용, 그리고 무엇보다도 기밀유지에 큰 역할을 하는 윤활유가 지속적으로 공급되지 못하는 상태에서 기대 이상의 결과를 얻었으며 엔진 설계보완 후에는 목표하는 압력을 얻을 수 있을 것으로 판단하기에 충분하였다.

프로토타입 SRE에서 연소실 연료 공급은 연소

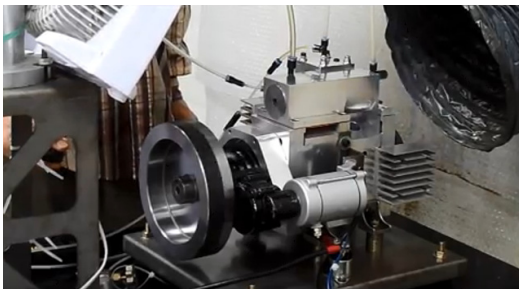


Fig. 8 SRE prototype test.

실 공기 공급 통로에 연료 노즐을 노출시켜 연료가 자연 분무되도록 하고 수동조작 밸브로 연료량을 조절하는 간단한 방식을 적용하였고, 점화는 마그네토 점화장치를 사용하였다. 이와 같이 정교하지 못한 연료 및 점화장치로는 연소실에서 정상적인 연소를 만들기가 어려워 충분한 폭발압력을 얻을 수 없었으며 그 결과 엔진 회전속도를 모터링 속도인 420 rpm에서 연료 공급시 560 rpm으로 증가시키는데 만족하여야 했다[8].

#### 5. SRE 성능예측

이렇게 SRE는 아직 개발 전의 엔진으로 효율 측면에서 기존 엔진과 정량적인 비교는 불가능하다. 그러나 SRE의 흡기 체적, 압축비 및 팽창비를 정하고 공기압 손실과 냉각손실 및 기계적인 마찰 손실을 적절히 가정하면 피스톤엔진이나 반켈 로터리엔진의 효율과 상대적인 비교가 가능하다.

SRE의 경우 압축기의 압축행정 부피를 고려하여 적절한 연소실 부피를 정하면 원하는 압축비(Cr)를 얻을 수 있고, 복잡한 구동장치를 사용하지 않으면서 팽창기 로터(Expander Rotor) 직경을 압축기 로터(Compressor Rotor)보다 작게 만들거나 팽창기 폭을 늘림으로써 팽창비(Er)가 압축비보다 큰 over-expanded cycle을 쉽게 구현할 수 있다. 열효율 측면에서 더 이상적인 atkinson cycle[9] 엔진의 경우 Fig. 9의 P-V 선도에서 4"까지 팽창하여야 하나 이 경우 추가적으로 얻는 출력 4'-4"-5-4' 크기에 비해 엔진이 과도하게 커지는 단점이 있어 실제 엔진에 적용할 cycle로는 over-expanded cycle이 더 적합하다고 할 수 있다.

예를 들면, 압축비가 10이고 팽창비가 25인 atkinson cycle 엔진은 아래 Eq. 1 및 Eq. 2 계산과 같이 otto cycle에 비해 이론 열효율이 8% 정도 향상된다.

$$\eta_{Oto} = 1 - \frac{1}{Cr^{\gamma-1}} = 0.6 \quad (1)$$

$$\eta_{Atkinson} = 1 - \gamma \left( \frac{E_r - C_r}{E_r^\gamma - C_r^\gamma} \right) = 0.68 \quad (2)$$

where,  $\gamma = \text{specific heat ratio}$

SRE가 이러한 효율을 갖기 위해서는 팽창행정  
의 부피가 압축행정의 2.5배, 엔진 전체(코어 부  
분)로는 크기를 약 30% 정도 키워야 한다. 그러  
나 팽창비를 압축비의 1.5배인 15 정도까지 늘리  
는 것은 엔진의 크기를 거의 키우지 않고 실현  
할 수 있으며 이때 열효율은 otto cycle에 비해  
약 5% 정도 향상된다(P-V선도의 1-4'-1과  
1-4'-5-1 면적비 참조). 동일한 공간에서 압축과  
팽창이 이루어지는 기존의 왕복동 피스톤엔진이  
나 반켈 로터리엔진에서 팽창비가 압축비의 1.5  
배인 over-expanded cycle 엔진을 만드는 것은  
압축행정을 짧게 하여 압축비를 낮추는 방법 밖  
에 없으며, 이 경우 열효율은 개선되나 출력이  
현저히 감소되는 것과 비교하여 SRE에서는 이를  
손쉽게 구현할 수 있어 동일 혹은 유사크기의  
엔진에서 효율뿐 아니라 출력도 함께 증가되는  
장점을 갖고 있다.

기계적인 마찰에 의한 동력 손실은 피스톤엔  
진의 경우 피스톤과 실린더 내벽, 커넥팅로드 저  
널베어링, 밸브 기구(Valve Train) 등에서, 반켈  
로터리엔진에서는 에이펙스 실과 하우징, 로터

저널베어링 등에서[7], 그리고 SRE의 경우 로터  
end seal과 하우징, 힌지베인과 로터 접촉부위  
등에서 발생한다. 마찰력은 윤활유 공급에 의해  
상당부분 제거할 수 있기 때문에 적절한 윤활  
장치를 갖추어야 하나 반켈 로터리엔진의 경우  
구조적으로 에이펙스 실 윤활이 여의치 않아 마  
찰손실이 SRE에 비해 클 것으로 예상된다.

피스톤 엔진에서는 연료가 가진 에너지의 약  
15% 정도가 연소 및 팽창과정에서 열전달로 손  
실된다[10]. 내연기관에서 단일 처리를 통한 열  
손실 차단이 엔진 성능향상에 매우 중요한 수단  
이 되는 것은 당연하다. SRE 연소실은 로터나  
실이 접촉하지 않는 독립된 공간으로 단일 코팅  
처리가 가능하여 연소 과정에서 열손실을 최소  
화 할 수 있다. 또, 반켈 로터리엔진의 경우 로  
터 하우징 내면은 에이펙스 실과의 불안정한 마  
찰로 쉽게 손상을 입을 수 있어 단일 코팅보다  
는 내마모 코팅 처리가 우선시 되어야 하나,  
SRE 로터 하우징의 경우 로터 end seal과 안정  
적인 접촉으로 손상의 염려가 현저히 낮으므로  
일부 단일 특성을 갖는 내마모 코팅이 가능하여  
열 손실을 좀 더 낮출 수 있을 것으로 기대 된  
다.

## 6. SRE 장단점 및 활용 분야

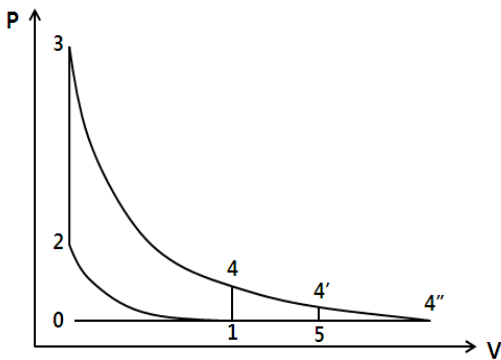


Fig. 9 Engines P-V charts.

Otto cycle: 0-1-2-3-4-1-0

Atkinson cycle: 0-1-2-3-4''-0

Over-expanded cycle: 0-1-2-3-4'-5-0

Table 1은 앞에서 살펴본 내용을 근거로 항공  
기 적용성과 관련한 각 엔진 특성항목에 대해  
엔진 유형별로 상대적인 평가를 한 것이다. 왕복  
동 피스톤엔진은 디젤유를 사용하는 압축착화식  
엔진을, 반켈 로터리엔진과 SRE는 가솔린을 연  
료로 사용하는 엔진을 비교대상으로 하였다.

효율은 연료소모량과 직접 관련되고 이는 운  
용비용 뿐 아니라 항공기 사이징 및 항공기 이  
륙중량에도 영향을 준다. 디젤 피스톤엔진은 월  
등한 압축비를 구현하고 있어 효율이 가장 좋은  
반면(항공기용 디젤 왕복동 피스톤엔진 AE300  
sfc: 0.39 lb/hp/hr) 반켈 로터리엔진은 에이펙스  
실 압력손실 등의 영향으로 가장 좋지 않다(반켈  
로터리엔진 AR741: 0.57 lb/hp/hr)[11,12]. SRE는

Table 1. Comparison of engine characteristics.

Characteristics	Piston (2,4 Strokes)	Wankel Rotary	SRE	Effects on A/C
Fuel Efficiency(SFC)	⊗, ○	⊗	○	Operation cost, Take-off Weight
Life(Reliability)	○	⊗	○	Safety, Cost
Energy density	Wt. △, ⊗	○	○	SFC, A/C Weight
	Vol. △, ⊗	○	○	A/C Design
Fontal Area	△, ⊗	○	○	Drag, A/C Design
Vibration	⊗	○	○	Comfortability, A/C Structure
Noise	△, ○	⊗	○	Comfortability, Muffler Size
Exhaust gas temp.	△, ○	⊗	○	Safety, Structure
Environment	⊗, ○	⊗	○	Regulation

반켈 로터리엔진과 비교하여 윤활의 용이성, end seal의 안정적 작동 및 over-expanded cycle 적용의 용이성 등으로 반켈 로터리엔진보다 월등하고 피스톤엔진에 버금가는 효율을 가질 것으로 예측된다. 또, 윤활의 용이성과 end seal의 안정적 작동은 SRE가 반켈 로터리엔진에 비해 수명과 신뢰성이 높을 것이라는 것을 예측할 수 있게 하며, SRE에 적합한 소재가 개발된다면 피스톤엔진과 대등한 수준으로 발전할 수 있을 것이다.

단위 출력당 무게나 부피 측면에서는 반켈 엔진이 피스톤엔진에 비해 월등하다[4]. 예를 들면, 왕복동 피스톤엔진 AE300의 중량당 출력은 0.412 hp/lb 인데 반하여 반켈 로터리엔진 AR741은 1.61 hp/lb로 AE300의 4배 수준이다. 이런 이유로 대부분의 소형 무인항공기에 반켈 엔진이 적용되고 있지만 수명이나 신뢰성 문제로 유인 항공기에는 거의 적용이 되지 않고 있다(AE300 분해정비주기(TBO): 1800시간, AR741 분해정비주기: 250시간). SRE는 압축기와 팽창기가 분리되어 있어 엔진 본체(코어) 기준으로 반켈 엔진에 비해 무게나 부피가 1.3~1.5배정도 더 크다. 그러나 시동, 연료, 윤활, 냉각, 콘트롤, 흡·배기 장치 등에서는 무게나 부피의 차이가 있을 이유가 없으므로 이들을 포함한 엔진 전체를 놓고 보면 반켈 엔진에 비해서는 1.2~1.3배 정도 크고 피스톤엔진과 비교하면 0.5배 이하로 훨씬 작을 것으로 예측된다. 항공기에서 중요한

동체 단면적(Frontal Area) 측면에서는 하나의 하우징 안에 압축공간과 팽창공간을 모두 포함하는 반켈 엔진에 비해 엔진 축의 앞뒤에 위치한 압축기와 팽창기가 압축공간과 팽창공간을 나누어 갖고 있는 SRE가 더 작거나 유사한 단면적을 가지므로 유리하거나 최소한 더 불리하지는 않을 것이다.

피스톤 엔진에 비해 로터리 엔진은 진동이 훨씬 작다. 하지만 반켈 로터리엔진은 로터의 무게중심이 엔진 축에 편심 되어있어 엔진 축이 회전할 때 진동을 유발한다. 비록 피스톤엔진에 비해 진동이 작기는 하지만 진동 제거를 위해 반켈 로터리엔진에도 counter balancing weight를 설치하며 이는 엔진의 무게 증가를 초래한다. SRE에서는 로터 회전축과 엔진축이 일치하므로 로터의 무게중심을 로터 회전축에 일치시킴으로써 진동을 완전히 제거할 수 있어 counter balancing weight가 필요 없다.

SRE에 over-expanded cycle을 적용함으로써 피스톤 엔진이나 반켈 엔진에 비해 배기가스의 온도와 압력을 낮출 수 있다(Fig. 9 참조). 배기가스의 압력이 낮아지면 엔진 소음이 현저하게 줄어드는 장점이 있다. 환경규제 대상이 되는 배기가스 오염물질 배출 양은 엔진 효율과 윤활유 연소 여부에 따라 정해진다. 오염물질 배출과 관련해 SRE는 반켈 엔진에 비해서는 월등히 우수하고, 피스톤엔진과는 유사한 특성을 가질 것으로 예측된다.

이러한 특성을 갖는 SRE는 항공기 적용에 매우 유리하며 그 외에도 이륜차, 하이브리드 자동차 발전용 엔진, 휴대용 발전기 등에도 기존 엔진보다 더 적합하게 활용될 수 있을 것으로 예측 된다.

## 7. 결 론

SRE는 기존 소형 피스톤 엔진이나 반켈 로터리엔진을 대체할 것으로 기대되는 새로운 타입의 신개념 로터리엔진이다. 부품수가 적고 제작이 용이하여 생산비가 기존 엔진보다 낮을 것으

로 예측되며, 동일 출력에서 기존 반켈 로터리엔진과 비교해 무게나 부피는 약간 무겁고 크지만 효율, 수명, 신뢰성, 소음, 배기가스 환경 문제 등에 있어서는 월등하게 우수하고, 피스톤 엔진에 비해서는 효율, 수명, 신뢰도, 배기가스 환경 측면에서 성능이 약간 낮을 수도 있지만 무게나 부피 측면에서 매우 우수한 특성을 갖고 있어 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것이다.

이와 같이 여러 면에서 기존 엔진에 비해 상대적으로 많은 장점이 있는 SRE가 조속히 개발되어 소형 항공기를 비롯한 여러 분야에 활용되기를 기대한다.

#### References

1. AE300 Maintenance Training Manual, Issue 4.6, Austro Engine, Wiener Neustadt, Lower Austria, Austria, 2013.
2. Greutert, E., "On the Development of a Suite of Rotary Engines to Power UAVs," *Unmanned Systems 2015*, AUVSI, Atlanta, G.A., U.S.A., 2015.
3. Kageyama, Y., "Mazda to stop making rotary-engine vehicles," AP, October 7, 2011.
4. Wankel engine - Wikipedia, World Wide Web location [https://en.wikipedia.org/wiki/Wankel\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Wankel_engine), 2017.
5. KI, D.J., "Separate-type Rotary Engine," United State Patent 9,212,603, 2015.
6. *Rotary Engine*, Mazda Motor Corp., Japan, October, 1999.
7. Robert, L.E., *Automotive Engine Alternatives*, Springer Science & Business Media LLC, New York, N.Y., U.S.A., 1986.
8. Ki, D.J., "New Rotary Engine Invention," World Wide Web location <https://www.youtube.com/watch?v=tS9138tdx9k>, 2015.
9. Ganesan, V., *Internal Combustion Engines*, 4th ed., Tata McGraw Hill, New Delhi, India, 2013.
10. Kim, K.K., *Automotive Engine in the Perspective of Science*, Golden Bell, Seoul, Korea, 2009.
11. AE300 Technical Data Sheet, World Wide Web location [http://austroengine.at/uploads/pdf/mod\\_products1/AE300\\_Technical\\_Data\\_Sheet.pdf](http://austroengine.at/uploads/pdf/mod_products1/AE300_Technical_Data_Sheet.pdf), 2017.
12. AR741 Technical Data Sheet, World Wide Web location <http://www.uavenginesltd.co.uk/files/5613/7240/9288/ar741.pdf>, 2017.