

삼성테크윈의 터보식 공기 압축기 소개

이형태* · 이영섭** · 권우성** · 문경찬** · 인배석**

An Introduction of a Turbo Air Compressor in STW

Hyung-Tae Lee*, Young-Seob Lee**, Woo-Sung Kwon**
Gyeong-Chan Moon**, Bea-Suk In**

Key Words : Turbo Compressor(터보압축기), Air Compressor(공기압축기), Turbo Master(터보마스터)
Micro Compressor(초소형압축기), High Speed Motor(고속모터), Air Foil Bearing(공기베어링)

ABSTRACT

High performance turbo compressor, Turbo Master, was successfully developed by applying combined technology and experience based on aero gas turbine engines. The Turbo Master, developed using our own technology, was designed for high performance and reliability. And the Turbo Master will supply absolutely oil-free compressed air to your facilities. In special, a next-generation micro compressor was lately developed, using air foil bearing and high speed motor known as the latest high technology.

1. 서론

공기 압축기는 공장 및 설비가동에 소요되는 필수장비로 왕복동식, 스크류식, 터보식으로 크게 분류된다. 그 발전단계를 보면 왕복동→스크류→터보로 발전되어 왔으며, 점차 고효율화로 인한 전력소비량의 감소, 토출유량의 대용량화 그리고 유지 및 보수의 편리성이 부각되고 있는 추세이다. 아직까지 왕복동과 스크류형 압축기는 그 고유특징으로 여전히 높은 시장점유율을 확보하고 있지만 터보식 공기 압축기는 왕복동식, 스크류식보다 대용량, 고효율, 저소음, 낮은 유지보수 비용 등의 장점과 가진 오일이 함유되지 않은 깨끗한 압축공기를 생산할 수 있는 환경 친화적인 특징을 가지고 있어 꾸준히 수요가 증대하고 있다.

본 논문에서는 항공기 가스터빈 엔진사업으로 축적된 특화 기술을 바탕으로 독자 터보 압축기 모델을 보유한 삼성테크윈사의 원심형 터보압축기(제품명 : 터보마스터)와 차세대 신개념의 개발품인 초소형 압축기의 기본구조와 특징을 소개하고자 한다.

2. 압축기의 종류

공기나 가스를 압축시키는 방법에 따라 크게 세가지로 분류된다.

2.1. 왕복동 압축기 (Piston compressor)

실린더 안에 피스톤의 왕복운동으로 압축공기를 생성한다. 최고 20단까지 공기압축이 가능하여 높은 공기압력을 생산할 수 있으나, 유량의 한계를 갖고 있어 2,000 cfm 이상 생성하기 어렵다. 공기 사용량이 많은

* 삼성테크윈 터보기기 Unit

** 삼성테크윈 파워시스템 연구소

E-mail : dandrew.lee@samsung.com

공정에서는 부적합하며, 이보다 용량이 큰 로타리(스크류) 압축기로 많이 대체되고 있다.

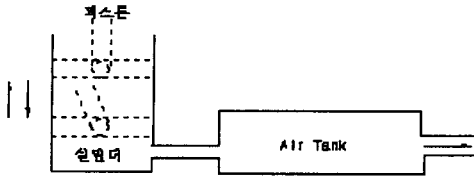


Fig. 1 Piston Compressor

2.2. 로타리 압축기 (Rotary compressor)

스크류 압축기(Screw compressor)라고도 하며, 피스톤의 왕복운동 대신 로타리(스크류)가 회전운동을 하여 압축공기를 생산한다. 왕복동 압축기보다 많은 유량을 생산할 수 있으나, 기계적인 소음이 매우 크다.

공기 압축은 8단까지 가능하며, 유량은 크기에 따라 최고 12,000 cfm 정도 생산할 수 있다.

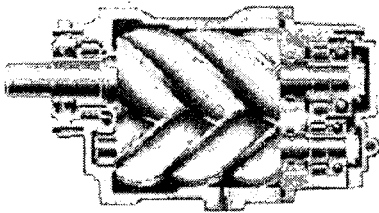


Fig. 2 Rotary Compressor

2.3. 터보 압축기 (Turbo Compressor)

왕복동 압축기와 로타리 압축기의 단점을 보완한 것이 터보 압축기로, 터보는 회전체(Rotor)에 따라, 원심형(Centrifugal/Radial flow) 압축기와 축형(Axial flow) 압축기로 나뉘어진다. 터보압축기의 장점은 유량을 압력변동 없이 조절할 수 있으며, 다른 종류의 압축기보다 전력당(KW) 많은 유량을 생산할 수 있다.

3. 원심식 터보압축기의 구조

근래 관심이 증가되고 있는 터보압축기에 대해 Fig. 3의 삼성테크윈에서 개발한 원심식 터보압축기를 이용하여 그 기본 구조와 특징을 알아보면 다음과 같다.

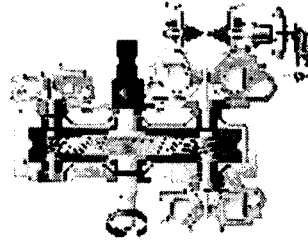


Fig. 3 Turbo Compressor

3.1. IGV(Inlet Guide Vane)

임펠러 전방에 위치하여 압축기 내부로의 공기유입량을 제어할 뿐만 아니라 유입공기에 대하여 선회각도를 만들어 임펠러에 소요되는 에너지를 절감시켜 주고 압축기 효율을 증대시킨다.

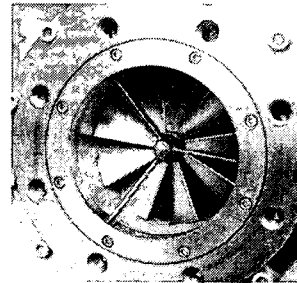


Fig. 4 Inlet Guide Vane

3.2. Impeller

모터로부터 기계적인 회전 운동에너지를 받아 회전하면서 축방향으로 유입되는 공기를 흡입하고, 반경방향으로 공기를 배출하는 과정에서 공기를 압축시킨다.

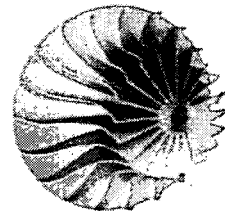


Fig. 5 Impeller

3.3. Diffuser

임펠러에서 나온 공기가 Scroll Case에 진입하기 전에 효과적인 압력상승을 위하여 Diffuser를 통과하도록 설계한다. 임펠러에서 압축된 공기는 Diffuser를 통과하면서 속도가 감소됨에 따라 압력이 상승하면서 정압(Static Pressure)으로 변하게 된다.

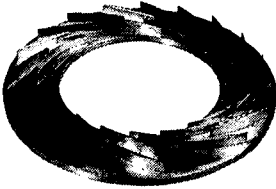


Fig. 6 Diffuser

3.4. Scroll Case

Volute라고 하는 나선형상 구조로 압축공기가 가지고 있는 속도성분을 압력성분으로 전환시켜 정압을 증가시켜 주는 역할을 한다.

3.5. Intercooler

압축시 상승된 공기의 온도를 떨어뜨리기 위한 열교환기로 냉각핀에 둘러 쌓인 동관내부로 물이 흐르고 냉각핀 주위를 통하여 공기를 통하게 함으로써 냉각핀을 통한 공기의 열이 동관내부의 물로 흡수되어 냉각된다.

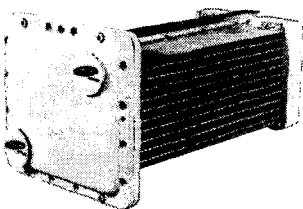


Fig. 7 Intercooler

3.6. Silencer

가압된 고속의 공기가 대기중으로 배출될 때 상당한

소음이 발생하게 된다. 따라서 공기를 대기로 방출하기 전에 최대한 속도를 감소시켜 배출함으로써 소음을 줄여주는 장치이며, 출구배관의 맨 후방에 위치하고 있다.

3.7. 오일계통

기어, 베어링 등이 정상적으로 작동되도록 오일의 온도와 압력을 일정하게 유지시켜 주는 장치들로 구성되며, 기어, 베어링에 대한 윤활작용과 냉각작용을 하게 된다.

4. 터보마스터의 특징

삼성테크윈은 1977년 설립되어 국내 최초로 항공기용 가스터빈 사업을 착수한 이래 3,500여대의 대형 민항기, 전투기, 헬기 및 가스터빈 엔진 등을 생산해 오면서 축적된 기술을 바탕으로 터보식 공기압축기의 핵심기술인 원심형 임펠러와 고속증속기어의 설계 및 제작기술을 자체 개발하는데 성공하였다.

4.1. Inlet Guide Vane 장착

- 시스템 최적제어로 운용비용 절감
- 토출유량 65 ~ 100 % 범위 자동제어
- 전력소모량 절감

4.2. 고성능 Backward Lean Impeller 적용

- Backward Lean Impeller를 적용 : 고효율 보장
- 넓은 용량조절 범위

4.3. 효율적 냉각방식

- Intercooler는 Plate Finned Tube형 구조
- 탁월한 냉각효율 / 압력손실 최소화
- Water-In-Tube, Air-In-Shell 방식 직립관 구조
- 세척용이 / 유지 관리비 저렴
- 갈바닉 부식응용, Chromel Zinc Primer 코팅처리
- Tube내 Scale 발생 억제
- Intercooler 수명연장(3년)

4.4. 유지보수 및 조립성이 우수한 기어박스

- 수평분할식 구조 : 유지 관리비 저렴
- 부속배관 해체없이 Core 검사 및 정비
- Taper Pin 위치 고정 방식 적용

4.5. 고정밀 고속 증속기어

- Helical Gear Type
 - 안정되고 강력한 동력전달
- AGMA 표준에 따른 엄격한 품질관리
- 반영구적 수명 : 질화열처리 수행
- Thrust Collar를 채택 Gear Box의 효율 증대
- 90dB 이하의 정숙한 운전

4.6. 저진동 베어링

- Bull Gear Bearing
 - 4 Lobe Sleeve Journal with tapered land thrust bearing
- Pinion Gear Bearing
 - Tilting Pad Journal Bearing

4.7. Oil Free Air 공급을 위한 Seal 채택

- Low Air Leakage
 - Labyrinth seal 채택
 - 고신뢰성 및 반영구적 수명
- 수평분할식 구조
 - 검사 및 정비성 용이

4.8. 최신의 Control System

Control System은 공기 압축기에서 감지되는 온도, 압력, 진동 Data를 감시하여 자동으로 압축기를 제어 해서 최적의 성능과 효율을 유지한다.

- 범용성이 우수한 Micom 설계
 - Sequence 제어, D.C.S. 구축 및 연동운전 편리
- Auto-Dual 방식의 시스템 제어
 - 가변형 I.G.V. + On/Off BOV
- Touch Screen 방식 : 사용자 운용 편리성
- Set Point 설정에 의한 자동제어

4.9. 완벽한 품질보증 체계

- 항공산업 20여년 역사의 완벽한 품질보증체계
 - ISO9001/9002/14001, BSI, S-1000, PW-QA-6076, MIL-Q-9858 등
- 구성품의 Spin, Hydraulic, Endurance 시험 및 비파괴검사
- 통합 성능시험을 통한 시스템 보증
- 각종 인증획득
 - KT(국산신기술인증) 수상 : 1997. 11
 - 장영실상 수상 : 1998. 4

4.10. 터보마스터 규격

- 터보마스터에서 개발한 규격은 다음과 같다.

Table 1 Turbo Master Models

모델	모터용량 (HP)	용량 (m3/hr)	토출압력 (Bar A)	LxWxH (mm)	무게* (ton)
TM400	400	2,300	3 ~ 14	L 2880	4.2
TM500	500	~		W 1800	
TM600	600	5,800		H 1700	
TM700	700	4,300		L 3152	6.0
TM800	800	~		W 1900	
TM900	900	8,300		H 1830	
TM1000	1,000	6,200		L 3990	7.0
TM1250	1,250	~		W 2060	
TM1500	1,500	13,500		H 1990	

* 무게는 모터무게 제외임.

5. 차세대 초소형 압축기

세계 최초로 개발된 초소형 압축기 시스템은 Air Foil Bearing, 고속모터에 의한 직구동 방식을 적용한 신개념의 차세대형 터보 압축기로 완전한 Oil-Free 압축공기의 생산이 가능하고, 기어와 윤활시스템을 제거 하여 제품의 무게 및 부피를 획기적으로 저감하여 전체 시스템이 단순화되고 유지보수성이 향상되는 등 기존 압축기에 비해 여러 가지 장점을 갖는 첨단 제품이다.

시스템 측면에서 초소형 압축기는 선진국에서도 상품화 시도가 이루어지고 있지 않는 최첨단의 신제품으로 본 제품의 성공적인 개발로 압축기 자체의 기술 선점, 선도효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 각 요소기술의 기술력 향상에도 큰 효과가 기대된다.

5.1. 압축기 Layout

개발된 압축기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 크게 Core, Inverter, Cooler Case, 배관들로 구성되었으며, 각 구성품들은 Compact하게 베이스프레임 위에 올려져 설치공간과 체적을 최소화하고 이동과 설치를 편리하게 하였다.

Fig. 2는 Enclosure가 씌어진 압축기의 모습으로 외부로부터의 파손과 먼지와 분진 등에 의한 오염을 피할 수 있으며, 신소재의 흡음재를 사용하여 고속운전에 의한 소음을 완전히 차폐시켜 65dB 정도의 쾌적한 작업환경을 유지시킬 수 있다.

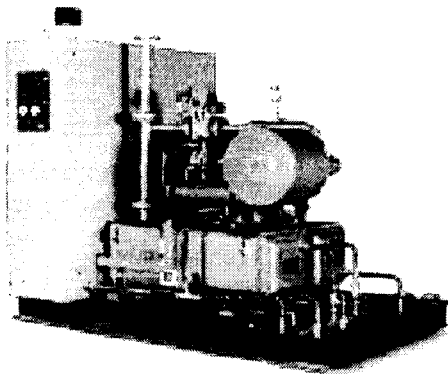


Fig. 1 Micro Compressor

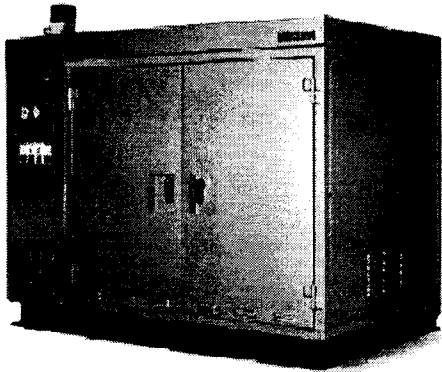


Fig. 2 Micro Compressor with Enclosure

5.2. Main 유로

Inlet Filter를 통해 들어 온 공기는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 1단 Stage와 2단 Stage를 통해 압축공기로 만들어 지며, 고온의 압축공기는 Inter Cooler와 After Cooler로 들어오는 냉각수에 의해 식혀져 각각 2단 Stage와 Outlet으로 흘러 들어간다. 그리고 압축공기를 생산하지 않는 Unload시에는 프로그램에 의한 Valve 제어로 Inter Cooler의 압축된 공기가 1단 Stage의 입구로 가게 되어 불필요한 압축공기의 생산을 중단시킨다.

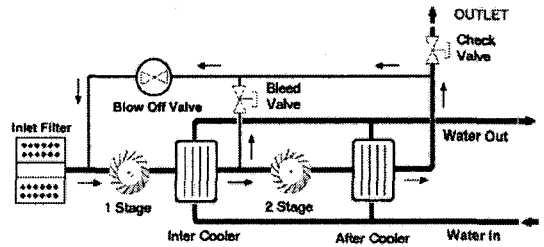


Fig. 3 Main Air Flow

5.3. 압축기 Core의 내부 구조

Fig. 4는 개발된 압축기 Core의 내부 모습으로 고속 모터는 2개의 Radial과 2개의 Axial Air Foil Bearing에 의해 지지되며, 공기 압축을 위해 모터의 좌우에 1단과 2단 Impeller와 Scroll이 각각 위치한다. 압축기의 Core는 크게 모터부, 1단 베어링 케이스, 2단 베어링 케이스의 3개로 나뉘어 지며, 정밀한 조립을 위해 열간 조립이 이루어진다.

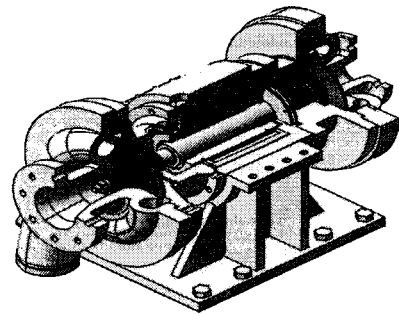


Fig. 4 Cutted Compressor Core

5.4. 냉각시스템

압축기의 냉각은 외부에서 공급되는 물과 공기를 이용하여 냉각된다. 먼저 물은 Inter Cooler와 After Cooler로 들어가 압축공기를 냉각시켜 주며, 모터케이스의 모터 권선부, 그리고 Inverter 주위에 공급되어 Inverter와 Controller를 냉각시켜 준다.

그리고 외부에서 압축기 Core에 공급되는 냉각공기는 Radial과 Axial Air Foil Bearing, 그리고 고속모터를 냉각시켜 일정한 온도를 유지하게 한다.

5.5. 압축기 규격

개발된 압축기의 사양은 다음과 같다.

- 모델명 : TM 150
- 모터 용량 : 150 hp
- 흡입 유량 : 1,305 m³/hr
- 토출 압력 : 6 ~ 10 (Bar A)
- LxWxH : 1,960x1,305x1,501 mm

6. 초소형 압축기 주요 구성품

6.1. High Speed Motor

고속모터는 기존 유도전동기에 비해 효율이 우수하고, 반영구적인 수명을 가진 최첨단 제품으로 최고 70,000 rpm의 모터 회전자에 Impeller를 장착하여 기어 시스템을 제거하였다.

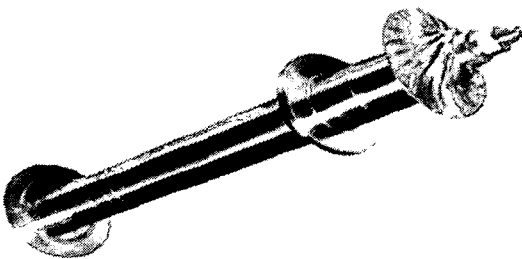


Fig. 5 Compressor Cooling Systems

6.2. Air Foil Bearing

개발된 압축기는 윤활유 대신 공기를 사용하여 구동하는 Air Foil Bearing을 채택함으로써 복잡한 윤활 시스템을 제거하고, 100 % Oil-Free 압축공기의 생산이 가능해졌다. 압축기에는 2개의 Radial과 2개의 Axial Bearing이 사용되며, Air Foil에 특수코팅을 적용하여 제품수명을 획기적으로 연장하였다.

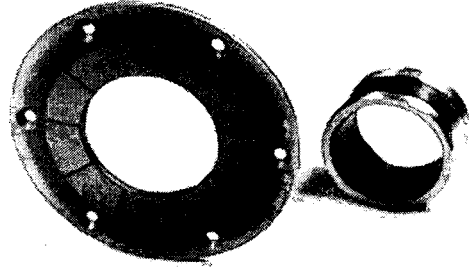


Fig. 6 Radial and Axial Air Foil Bearings

6.3. Impeller와 Diffuser

3차원 CFD 해석을 통해 공기역학적으로 최적화된 Impeller와 Diffuser는 전 운용영역에서 높은 효율을 발휘하며, 내마모성 재질로 제작되어 반영구적으로 사용할 수 있다. 사용된 Impeller는 비파괴 검사와 내구성 시험 및 115% Spin Test 등을 통해 완벽한 품질을 보장할 수 있다.

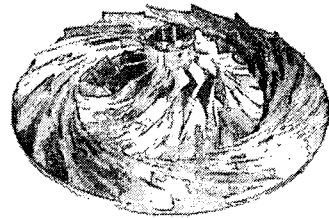


Fig. 7 Impeller and Diffuser

6.4. Inverter

모터의 기동과 속도제어를 하는 구성품으로 정격부

하 이하에서 압축기 초기기동이 가능하여 기동 전력을 절감할 수 있으며, 속도 제어를 통해 넓은 운용영역에서 압축기를 효율적으로 운용할 수 있다.

6.5. 시스템 상시 감시

압축기 Core의 온도, 압력, 진동 및 모터의 각종 데이터를 자동적으로 감지하여 모니터링한다. 특히 시스템의 이상을 초래할 요소를 사전 발견하여 제거할 수 있도록 도와 주며, 이상이 발생하는 경우에는 자동 정지하도록 프로그램 되어 있다. Fig. 8은 제어기에서 측정하는 각종 센서의 위치와 측정 변수를 나타낸다.

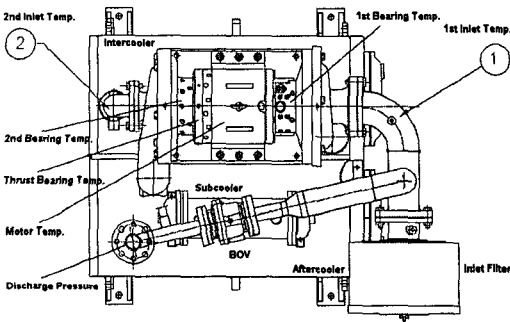


Fig. 8 Sensors and Measurement Points

7. 초소형압축기 시험

개발된 압축기에 대해서는 제품의 안정성과 신뢰도를 높이기 위해 다음과 같은 항목들에 대한 시험이 수행되었다.

7.1. 제품 시험

- Field Balancing
- 고속 온도 안정성 시험
- 공력 성능 시험
- 압축기 제어 시험

7.2. 환경 시험

- EMI/EMC 시험
- 주위 환경 시험 (냉각공기, 냉각수)

7.3. 내구성 시험

- Air Foil Bearing 수명 시험
- 압축기 기동/정지 반복 시험
- 연속 운전 시험
- Field Test

8. 초소형압축기의 특징점

8.1. 100% Oil-Free 압축공기 공급

개발된 압축기는 첨단기술인 초고속모터와 Air Foil Bearing을 채택하여 기어시스템과 윤활시스템을 제거한 차세대 터보압축기로 윤활유를 전혀 사용하지 않아 100% Oil-Free 압축공기를 공급할 수 있다.

8.2. 환경 친화적인 압축기

윤활유를 사용하지 않아 폐유처리 문제가 없고, 응축수에도 유분이 전혀 포함되지 않아 유수분리 장치 가 필요 없어 유지보수 비용을 절감하며, 신소재의 흡음재를 사용한 Enclosure의 설치로 작업장 환경을 항상 쾌적하고 청결하게 유지할 수 있다.

8.3. 고효율에 따른 최저 운용비용

항공산업에서 축적된 첨단기술을 바탕으로 자체 개발한 고효율 Impeller와 Diffuser를 채택하였고, 기존 압축기의 기어와 윤활시스템에서 발생하는 에너지 손실이 전혀 없어 압축기 운용비용을 10% 이상 절감하였다.

8.4. 최저의 유지보수 비용

주기 교체 품목수를 2개로 최소화하였고, Water-In-Tube 방식의 인터쿨러를 채택함으로써 연간 유지보수 비용을 획기적으로 절감하였다.

8.5. 최소의 설치공간 및 Compact Design

스크류 압축기 대비 체적이 40% 이하로 최소의 설치공간을 구현한 Compact 제품으로 설치공간이 협소한 장소에서도 압축기 운용이 가능하다. 그리고 압축

기 구동에 필요한 모든 시스템을 일체화하여 추가적인 설치작업이 필요 없으며, 자체 베이스프레임 채택으로 기초공사가 필요 없어 경제적이다.

8.6. 낮은 기동전력

Inverter를 채택하여 모터의 정격부하 이하에서 압축기 기동이 가능한 제품으로 기존 압축기와 같은 높은 기동 전력이 필요 없어 수전용량의 제약으로 인한 추가적인 수전설비의 투자비용을 줄였다.

8.7. 쉽고 간편한 제어시스템

5.7" Color Touch Screen을 채택하여 운용 편리성을 한층 높여 간편한 조작으로 압축기 구동에 필요한 모든 정보를 일목요연하게 볼 수 있다. 그리고 Modulating 제어를 기본으로 채택함으로써 압축공기의 부하 변동에 상관없이 항상 최적의 상태로 압축기를 운용할 수 있다.

9. 결 론

항공기 가스터빈 엔진사업으로 축적된 기술을 바탕으로 개발된 터보마스타와 Air Foil Bearing, 고속모터에 의한 직구동 방식을 적용한 차세대 신개념의 개발품인 초소형 압축기는 대용량, 고효율, 저소음, 낮은 유지보수 비용 등의 장점과 오일이 함유되지 않은 깨끗한 압축공기를 생산할 수 있는 환경 친화적인 특징을 가지고 있다.

이러한 제품들의 개발로 압축기 자체의 기술 선점, 선도효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 각 요소기술의 기술력 향상에도 큰 효과가 기대되며, 국내수요에 대한 수입대체효과 및 세계시장으로의 진출로 외화획득에도 큰 몫을 담당할 것이다.

후 기

본 연구에서 차세대 초소형 압축기는 과학기술부의 특정연구개발 사업의 연구비 지원으로 개발되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.