

# 공조용 터보압축기

오종식\*

## 1. 서 론

일반적으로, 압축기는 외부의 동력을 이용하여 로터(rotor)의 회전작용으로 인해 가스상태인 작동유체의 전압(total pressure)을 증가시켜 압축작업을 수행하는 유체기계로 정의한다. 입구와 출구를 통하여 작동유체의 밀도상승분이 대략 7% 이상인 경우를 압축기라고 말하고, 그 미만인 경우에는 팬(fan)이나 송풍기(blower)로 분류한다. 압축기는 특성상 크게 다음의 Table 1에서와 같이 분류되는데, 현재 국내에서 흔히 말하는 터보압축기(turbo compressor)는 회전하는 원심형 임펠러(centrifugal impeller)에 의해 작동가스가 압축되는 원심압축기를 의미하며, 이는 엄밀한 의미에서 볼 때, 일본과 국내에서만 주로 쓰이는 용어라고 본다.

Table 1 Classification of Compressors

Comp.	positive displacement	reciprocating or piston
		scroll
		rotary or vane
		screw
	dynamic	centrifugal flow
		axial flow
		mixed flow

냉동공조분야에서 쓰이고 있는 원심압축기는 크

\* 한국기계연구원 열유체환경연구부

게 볼 때, “터보냉동기(centrifugal chiller)” 분야와 “터보압축기(centrifugal air/process compressor)” 분야로 구분할 수 있다. 터보냉동기는 증발기와 압축기, 그리고 응축기와 팽창기로 구성되는 냉동사이클에서 압축기를 원심압축기로 이용하는 산업기계로서 주로 사무용 빌딩이나 호텔, 그리고 발전소(특히 원자력)등지에서 대형 냉동공조를 위해 필수적으로 이용된다. 반면에, 터보압축기는 일반 산업현장에서부터 화학 프로세스 플랜트에 이르기까지 공기를 포함한 다양한 종류의 가스를 압축하기 위해 사용되는 가장 기본적이고 중요한 요소기계라고 할 수 있다.

## 2. 터보냉동기 분야

### 2.1. 터보냉동기의 특징

일반적으로 냉동기도 사용되는 압축기의 종류에 따라 Table 1과 같은 맥락으로 분류될 수 있는데, 터보냉동기는 왕복동식이나 로터리식, 혹은 스크류식 냉동기에 비하여 압축되는 냉매의 유량이나 전체 냉동용량이 크기 때문에 사용하는 냉매도 그 특성에 따라 서로 다른 종류가 쓰인다. 저압의 냉매가 쓰이기 때문에 취급이 간편하고, IGV(inlet guide vane)를 이용한 미소용량제어가 가능하여 비례제어가 가능하며, 대형이어서 단위 냉동톤당의 증량이나 설치면적이 적다는 장점이 있다 (주: 냉동톤=RT(refrigeration ton), 1 usRT=3,024 kcal/h). 그러나 중형이하급에서는 가격경쟁력이 떨어지고 저온장치에서는 압축단수가 많이 필요하다는 단점이 있다. 소용량 범위에 터보냉동기를 적용

한다면 요구되는 회전수가 증가하여 증속기어의 개발이 어려워지고 임펠러가 소형화가 되어 설계 및 제작에 어려움이 많아 적당하지 않다.

## 2.2. 터보냉동기의 분류

냉동용량에 따라 분류할 경우에는 흔히 100~1,000 RT를 기준으로 그 이상 약 10,000 RT까지를 대형, 그 이하 약 30 RT까지를 소형 터보냉동기로 구분하여 말한다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 100 RT급 이하에서는 현재까지는 경쟁력이 많지 않다. 압축단수에 따라 분류할 경우, 과거에는 다단 압축형식을 취했으나 냉매가 개량됨에 따라 전기모터와 직결시킨 2단 압축형식으로 발전하였고 현재에는 소형화를 위해 증속기어(약 10,000~20,000 rpm)를 연결한 1단 압축형식이 실용화된 상태이다. 또한, 구동부와 압축기가 밀폐구조(hermetic)인가 개방구조(open-drive)인가에 따라 분류할 수도 있다. 밀폐구조인 경우, 전기모터를 압축기와 일체형의 밀폐구조로 함으로써 소형화가 가능하게 하고, 순환하는 냉매가 전기모터를 냉각하게 되어 별도의 냉각장치가 필요없으며, 증속기어가 없는 경우에는 직결식이어서 소음을 줄일 수 있다.

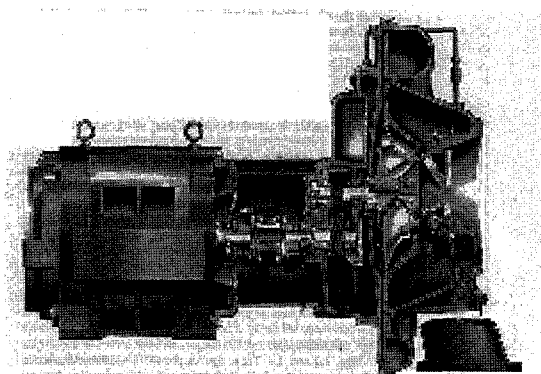


Fig. 1 Hermetic Type One Stage Compressor with Electric Motor

Fig. 1은 대표적인 밀폐구조 1단 압축기의 단

면을 보여주는데, IGV를 통한 용량제어에 따르는 광범위한 운전범위를 위해 베인없는 디퓨저(vaneless diffuser)를 채택하였고, 임펠러는 증속속의 회전수로 인해 2차원적인 날개형상을 갖는 밀폐형(shrouded) 임펠러임을 알 수 있다.

## 2.3. 해외업체 및 제품의 현황

터보냉동기의 세계 3대 업체라고 하면, 모두 미국업체로서 The Trane Company, YORK International Corporation, 그리고 Carrier Corporation을 들 수 있다. 이들은 터보냉동기(centrifugal chiller)를 포함한 HVAC&R(Heating, Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration)사업을 하고 있으며, 한 예로 YORK International의 경우, 1996년 전체 매출액이 \$3.22 billion에 달해 그 규모를 짐작할 수 있다. 각각의 업체에서 현재 생산하여 판매하는 터보냉동기의 종류와 특성을 다음의 Table 2에서 Table 4까지 나타내었다.

Table 2 Trane's Hermetic Centrifugal Chillers

usRT	Model	Refrigerant
165-1,400	CVHE, CVHF	HCFC-123
1,400-3,000	LHCV	
* Hermetic CenTraVac centrifugal liquid chiller * Direct-drive 3,600 rpm fixed speed * High eff. 0.52kW/ton (300 - 1,200 usRT)		

Table 3 YORK's Millennium Centrifugal Chillers

usRT	Refriger.	Remarks
350-2,100	HFC-134a HCFC-22	Reduction of 30% of power consumption annually with variable speed motor
100-850	HCFC-123	
400-2,100	HFC-134a	Natural gas engine drive application
2,000-8,500	HCFC-22 HFC-134a	Multi-stage compression

Table 4 Carrier's Centrifugal Chillers

usRT	Model	Refriger.
200-1,500	19XR Evergreen (1St.)	HFC-134a
350-525	19XRT Evergreen (1St. 0.50kW/ton)	
300-600	19XL	HCFC-22
200-530	19XL	HFC-134a
800-2,200	19EX (2St. 0.56-0.60kW)	
1,500-2,300	17EX (2St. 0.55-0.59kW)	
3,000-6,800	17DA (1St.)	

※ 19 : Hermetic, 17 : Open-drive, St. : Stage

전반적으로 볼 때, 공통적으로 에너지 절약과 환경친화라는 2가지 목표를 향해 제품개발을 진행하고 있음을 알 수 있다. 에너지 절약의 척도인 소비전력이 냉동톤당 약 0.5~0.6 kW의 수준으로까지 도달되었는데, 이는 무엇보다도 원심압축기 설계기술의 발달에 기인한다. 과거의 임펠러가 2차원적인 블레이드로 이루어진 단순한 밀폐형 임펠러였다면, 현재는 밀폐형 임펠러의 제작기술의 발달과 더불어 후향경사각(backswep)을 갖는 3차원적으로 최적 설계된 블레이드의 설계가 적용되어 임펠러 자체의 효율이 향상되었다. 또한, 증속기어를 채택하는 경우 고회전수의 실현으로 가스터빈 기술에 적용하는 고효율 개방형(open) 임펠러의 설계가 적용되기도 한다. 과거의 디퓨저는 안전한 운전범위를 확보하기 위해 단순한 베인없는 디퓨저를 사용하였으나, 현재는 고효율과 운전범위의 장점을 모두 갖는 파이프(pipe) 디퓨저와 같은 향상된 기술의 디퓨저들을 사용한다. 벌류트(volute)의 설계도 단순하게 확산 안내 통로로만 보지 않고 수치해석법(CFD)의 발달로 인해 공력적으로 최적의 성능을 보이는 설계를 찾아 적용함으로써, 전체적으로 압축기의 효율을 상당히 향상시킬 수 있다. 이밖에, 2단 압축 이상의 경우 응축기를 통해 나온 포화증기상태의 냉매에서 가스(flash gas)를 분리하여 다시

후단 압축기로 흡입시키는 economizer를 채택함으로써 전체 사이클의 효율을 증가시킨다. 그리고 팽창밸브의 성능을 향상시켜 시스템의 부하(load)가 변할 때에도 가스가 bypass되는 것을 방지하여 전체 효율을 높이며, 응축기와 증발기의 열교환기 설계기술의 향상으로 열전달 효율을 향상시킴으로써 전체 소비전력의 절감을 이룰 수 있었다. 특이할만한 점으로서, Table 4의 Carrier사 신제품인 19 XR/XRT Evergreen은 기존에 사용하던 팽창기 대신 터빈(turbine)을 이용하여 발생된 동력을 직결된 전기모터에 전달해주어 소비전력을 절감하는 새로운 개념을 적용했다는 점이다. 1995년 자체특허와 더불어 개발에 착수해 1996년 기존의 19 XL을 수정하여 시제품 개발에 성공하였는데, 발표에 의하면 냉동톤당 0.50 kW의 소비전력을 달성해 획기적이라고 할 수 있다. 가장 핵심기술인 2상(two phase) 증동터빈(impulse turbine)설계를 위해서는 자체특허를 갖고 있는 미국의 Biphase Energy Company와 면허계약을 통해 공동개발을 수행하였다.

Table 5 Important Refrigerant Milestones

1996년	Production of CFC-11, -12 ceases.
2004년	Production of HCFC-123, -22 cut back 35%.
2020년	Production of HCFC-22 ceases.
2030년	Production of HCFC-123 ceases.

환경친화적인 측면은 잘 알려진 바와 같이 CFC계의 냉매가 오존층을 파괴한다고 확인되어 국제적으로 다음과 같은 일정으로 사용금지 합의가 되어 있다(Table 5 참조). 1991년 이전에 판매된 전세계 터보냉동기의 약 2/3 이상이 CFC-11과 CFC-12를 냉매로 사용하고 있을 정도로, R-11과 R-12가 주종을 이루었다. 우선적으로 급히 개발된 이들의 대체냉매(alternative refrigerant)인 HCFC-123과 HCFC-22도 머지 않아 곧 사용 금지될 예정이기 때문에, 현재로서는 터보냉동기용 신

냉매는 HFC-134a가 최적이라고 할 수 있다. 따라서 현재 업체의 추세는 이러한 신냉매를 사용한 압축기의 재설계를 통해 성능저하분을 확보할 수 있도록 개발하고 있다. 또한 HFC-134a는 기존의 냉매와는 달리 고압냉매이어서 응축기와 증발기간의 압력차가 상대적으로 커서 economizer를 효과적으로 활용할 수 있으며, 기존의 purge 시스템은 필요 없는 등 장점이 많다.

국내업체로는 LG기계를 비롯하여 경원세기 등 소수업체가 자체생산하고 있는데, 독자개발을 시작한 것이 대체냉매의 필요성이 대두되기 시작한 이래 불과 4~5년 정도밖에 되지 않았다.

## 2.4. 압축기 설계기술

터보냉동기용 원심압축기의 설계와 관련된 기술적 사항중에서 가장 중요한 것은 실제기체(real gas) 모델링이다. 냉매의 특성은 공기와는 매우 다르고, 또한 대체냉매마다 고유의 열역학적 특성이 다르기 때문에, 이상기체(ideal gas)라는 단순한 가정은 적용될 수 없다. 과거에는 1차원적인 공력 설계(meanline design) 단계에서만 냉매의 열역학적 물성치를 데이터베이스화하여 이용하거나 적당한 fitting식을 이용해 적용한 후, 2차원적인 임펠러의 블레이드 형상설계에서는 이상기체라고 가정하여 설계하였다(Fig. 2). 설계에 대한 검증은 시제품의 성능시험으로 확인하여 설계를 수정하는 반복과정이 많이 필요하였다. 그러나 현재 해외업체에서는 1차원 설계단계 뿐만 아니라 3차원 블레이드의 형상설계와 3차원 수치유동해석 단계에 이르기까지 실제기체 자체를 적용하거나 실제기체 모델링<sup>(1)</sup>을 적용함으로써 개발기간과 예산을 단축하는 것이 일반적이다.

다음으로 중요한 기술은 임펠러를 비롯한 구성품의 구조설계기술이다. 원심력과 열응력에 의한 재료의 변형을 고려하여 원하는 수명을 확보할 수 있는 재료의 선정이 필요하며, 개방형 임펠러의 경우 변형에 의한 익말단 간극(tip clearance)을 사전에 예측하여 상세조립도에 반영해야 한

다. 또한 회전체에 대한 진동특성과 베어링(journal/thrust 베어링), 그리고 누설방지를 위한 seal의 설계도 간과할 수 없는 중요한 기술이다. 정상 운전상태 뿐만 아니라 시동 및 정지기간에 기계적 손실을 줄이고 진동특성을 양호하게 하면서 내마모성과 내부식성을 확보하는 측면이 중요하며, 또한 장기운전중에 정기적으로 수행하는 보수유지의 용이성을 고려하는 일도 매우 중요하다. 개방구조로 된 냉동기의 경우, 냉매의 누설방지 및 윤활오일의 기밀을 위해 floating ring과 carbon seal을 사용한 mechanical seal도 좋은 선택이 될 수 있다.

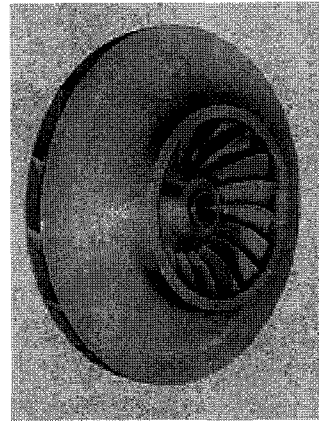


Fig.2 Shrouded Impeller

증속기어를 채택하는 경우, 저소음과 저진동 및 고강도를 유지하는 정밀기어박스의 설계가 또 다른 핵심기술이다. 터보냉동기의 경우 터보압축기와는 달리 증속비가 크지 않아 흔히 single helical 기어에 의한 1단형을 사용한다. AGMA-10 이상의 가공정밀도를 유지하고 장수명을 위한 특수 열처리도 필요하다.

이밖에 외기조건의 변화로 인한 냉동기의 부하 변동에 따른 용량제어도 중요한 핵심기술이며 전체시스템의 효율을 결정하는 중요한 인자중의 하나라고 할 수 있다. 터보냉동기의 용량제어 방법은 보통 다음의 3가지 방법이 있다.

(1) Suction Throttling

고전적인 방법으로서 입구의 밸브조절을 통해 흡입압력을 감소시켜 얻어진 압력헤드의 증가분 효과를 이용하여 용량을 감소시킨다. 동력손실이 많은 단점이 있다.

(2) IGV (Inlet Guide Vane)

앞서 언급한 바와 같이, 입구에 설치한 방사형 익렬을 별도의 actuator에 의해 회전시킴으로써 입구유동에 swirl각을 주어 압력헤드를 변화시켜 용량을 변화시킨다. 현재 대부분의 터보냉동기가 채택하고 있는 효과적인 방법으로서, 제어범위가 넓고 효율이 높은 편이다.

(3) Speed Control

압축기의 속도 자체를 변화시켜 특성곡선도를 움직이게 하여 용량을 제어하는 방법으로서, 증기터빈을 구동원으로 하는 경우에 알맞다. 그러나 최근에는 가변 전기모터 기술의 발달로 전기모터 적용이 증가하는 경향이 있다. 용량제어 방법 중에 가장 효율이 좋은 방법이다.

이와 같은 용량제어 방법의 특성에 따라 압축기 설계시에 특별히 고려해야 할 인자가 추가되어야 하는 점도 주의해야 한다. Trane사의 경우, 최신기술은 아니지만, 2단 압축형식에 각 단 입구에 IGV를 각각 설치하여 별도 제어를 하는 제품을 출시하여 가스를 bypass하지 않으면서도 전용량의 10%까지 용량제어를 가능하게 하였다. 기존의 1단 압축형식에 IGV를 채택한 경우, 가스를 bypass하면서도 전용량의 40%정도까지밖에 가능하지 않은 점을 감안하면 획기적인 발전이라고 할 수 있다.

3. 터보압축기 분야

3.1. 터보압축기의 특징

산업용 가스(공기 포함)압축기는 Table 1에서 구분한 바와 같이 용량별로 서로 다른 형식이 적

용되어 쓰이고 있으며, 이를 또한, 구동용 전기모터의 마력급으로 간단히 구분하기도 한다. 흔히 100마력 이하는 왕복동 압축기가, 100~500마력 급은 스크류 압축기가, 그리고 500마력급 이상은 터보압축기가 주로 사용된다.

터보압축기는 앞서 기술한 터보냉동기와 구조상 매우 유사하다고 볼 수 있는데, 다른 점이라면 작동유체가 냉매가 아니고 냉동사이클에서 응축기와 증발기가 미리 정하는 압력헤드(전압력비)의 제한이 없으며 응축기와 증발기 대신에 인터쿨러(intercooler)가 같은 형식인 shell & tube형 열교환기로 쓰인다는 점이다. 각 단 사이에 존재하는 인터쿨러는 다음 단에서 일어날 압축에 필요한 동력을 절감해주는 역할을 하여 효율적인 압축과정이 되게 해 준다. 적용되는 상황에 따라 다르지만, 요구하는 토출압력은 공기의 경우 대개 7~9 bar 정도이고, 프로세스용 가스의 경우 훨씬 그보다도 높기 때문에, 전체 압축비의 제한이 없이 다단의 형식으로 이루어진다. Fig. 3은 다단 터보 공기압축기의 고압축 고속회전부인 임펠러와 피니언(pinion) 기어 모습을 보여주고 있다.

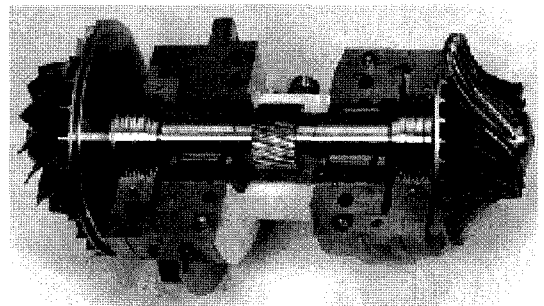


Fig. 3 Impellers with Pinion Shaft

터보압축기는 다시 일반적인 공기압축기와 프로세스(process) 압축기로 구분되는데, 프로세스 압축기는 공기 뿐만 아니라 다른 여러 종류의 가스를 압축하는 용도로서 주로 정유화학용(petrochemical)이나 유전가스산업(oil & gas industry),

그리고 정제용(refinery), 식품용(food industry) 등에 많이 쓰인다. 이들을 구분하는 기준은 제품의 설계 및 제작시, 예를 들어, API 기준(American Petroleum Institute Standard)<sup>(2)</sup>에 근거하는가에 있다. 다시 말해서, 같은 공기압축기라도 API 기준에 따라 제작하면 프로세스 공기압축기에 속한다. 이 중에서 유전가스산업 용도로는 모든 가스의 생성에서부터 가스의 처리, 그리고 가스의 운송과정 등에 이르기까지 다양하며, 크게 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) Gas Lift and Reinjection
- (2) Gas Gathering and Oil & Gas Separation
- (3) Gas Transport and Gas Branch Lines
- (4) Gas Storage
- (5) LNG Plants (Refrigeration Compressors)
- (6) Boil-Off Gas Compression
- (7) Peak Shaving

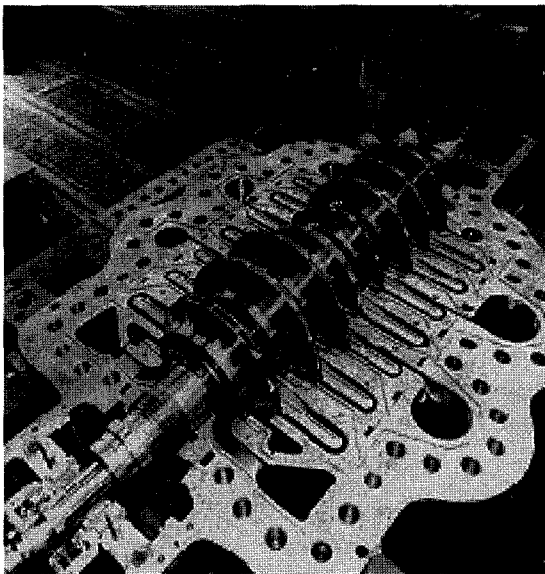


Fig. 4 Single-Shaft Type Centrifugal Compressor

터보압축기를 구조에 따라 분류하기도 하는데, 고속회전의 integrally gear-driven type (혹은

multi-shaft gear-driven type)과 저속회전의 single-shaft type (Fig. 4 참조)으로 나눈다. 일반 산업현장의 터보 공기압축기 대부분은 전자의 구조를 갖고 있고, 후자는 주로 프로세스 압축기에서 많이 볼 수 있다. 후자는 일정한 저속으로 회전하는 밀폐형 임펠러를 쓸 수 있으므로 특별한 sealing 시스템을 채택하지 않고도 유독성 가스 등을 취급할 수 있기 때문이다. 그러나 각 단 별로 회전수가 일정하므로 최적 효율을 위한 비속도(specific speed)를 확보하지 못하여 전자에 비해 효율이 낮고 소비전력도 약 10~15% 정도 큰 단점이 있다.

### 3.2. 해외업체 및 제품의 현황

전세계시장에서 터보압축기를 생산하는 업체는 약 30여 개에 이를 정도로 다양하고 많지만, 대표적인 업체로는 미국의 5개 업체를 들 수 있는데, 이들의 1994년 기준 시장점유율(미국내 터보압축기의 시장 150백만불 수준)을 살펴보면 다음의 Table 6과 같다. 1994년 기준으로 국내에서 판매된 터보압축기의 전량은 해외에서 수입한 실정이었다고, 167백만불인 국내공기압축기의 시장 중에서 약 13%인 21백만불이 터보압축기에 해당할 정도로 국내시장의 규모도 작지 않다. 해외업체의 대부분이 관심을 갖는 시장은 중국과 동북아시아 지역, 그리고 동남아시아 지역인데, 이들은 1994년에 전년 대비 30~50%의 성장세를 보이고 있기 때문이다.

Table 6 Market Share of Compressor

Company	U. S. Market	Domestic Market
Ingersol-Rand	30%	25%
Cooper	20%	30%
Atlas Copco	10%	10%
Elliott	10%	30%
Dresser-Rand	5%	N/A
IHI(Japan)	N/A	5%

최근에는 IHI사의 국내판매망이었던 해덕기계가 600마력급을 해외기술협력으로 자체개발에 성공하였고, 삼성항공이 Atlas Copco사와의 판매제휴를 바탕으로 1,250마력급을 독자개발에 성공하는 등, 국내업체의 자체개발이 활기를 띠고 있는 상황이다. 현재 LG기계와 광신기계가 각자 약 600마력급 독자모델을 각각 개발중에 있는 것으로 알려져 있다.

Table 7 Comparison of Compressor Models

Company (Model)	Motor Power	Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	Tech. Remarks
Cooper (Joy)	300-20,000	2,000-150,000	good load control, easy maintenance
Ingersol-Rand (Centac)	300-4,500	2,100-25,500	compact structure, poor maintenance
Atlas Copco (H)	300-12,730	500-200,000	high quality & reliability, high cost
IHI (Tae)	342-1,140	2,545-8,755	good load control, corrosion protection
Elliott	200-3,500	1,190-30,400	high quality & reliability, high cost

현재 국내에서 가장 많이 이용되고 있는 해외 터보 공기압축기 제품의 특징을 Table 7에 소개하였다. 특히, Elliott와 Atlas Copco의 제품들은 주로 integral gear-driven type의 프로세스용 가스압축기 전문업체로서 품질과 신뢰도가 가장 높다고 알려져 있으며, 공기압축기의 경우도 다른 업체의 제품에 비해 안정성 및 품질면에서 앞선 것으로 평가받고 있다. 반면에, Cooper나 Ingersol-Rand사의 제품은 저가격 보급형으로 아시아 시장을 공략하고자 보다 소형이면서 최소한의 기능만 갖춘 제품을 개발하여 국내시장에서 성공을 거두고 있다.

Ingersol-Rand사의 Centac시리즈는 기존의 하단부에 위치하는 인터쿨러를 압축기의 임펠러 입

구에 위치시켜 소형화를 이루는 특별히 고안해낸 구조를 갖고 있다. 소형화 및 저가격을 실현할 수 있었으나 정기적인 유지보수를 위해서는 전체를 분해해야 하는 단점이 있다. 최근에는 Atlas Copco사도 소형화 추세에 맞추어 ZH6 모델을 새로이 개발하여 저가 시장을 공략하고 있다. IHI사의 제품은 Cooper사와의 기술제휴를 통해 개발한 제품이어서 기술적으로 거의 비슷한 제품이다.

최근에 주목할만한 일은 소형 압축기 시장에 터보형을 적용하려는 연구개발이 활발히 이루어지고 있다는 점이다. IHI사는 기존의 스크류 압축기와 맞대결을 위해 약 100~150마력급의 소형 터보 공기압축기를 자체 개발하고 있는 것으로 알려져 있다. 대략적으로 600마력급의 고속회전수가 약 50,000 rpm이라고 볼 경우, 100마력급이면 최소한 100,000 rpm 정도가, 그리고 50마력급이면 최소한 120,000 rpm 정도가 필요하다. 그러나 현재의 증속기어 기술로는 100,000 rpm 이상의 경우 어려움이 많기 때문에, 예를 들어, 스위스의 Sulzer Turbo사가 최근에 개발한 터보 가스압축기 Mopico에 고속 induction 모터를 사용한 방법과 같은 신기술이 필요하다. 이 제품은 고속 induction 모터와 함께 VFD(Variable Frequency Drive)와 마그네틱 베어링을 채택하여 임펠러와 모터를 터보냉동기의 경우와 같이 밀폐구조로 하여 소형화를 이루었다.

이러한 구조는 냉동사이클에도 적용이 가능하기 때문에, 이와 유사한 개념을 소형 가정 에어컨 압축기에 적용하는 연구가 국내에서도 이루어지고 있는 것으로 알려져 있다.

### 3.3. 압축기 설계기술

터보압축기와 관련된 설계기술은 앞서 언급하였던 터보냉동기용 원심압축기의 기술과 거의 일치한다. 단지, 고속회전이 가능하기 때문에, 개방형 임펠러의 설계에 따른 익말단 간극의 조절 및 케이싱 표면의 처리, 그리고 윤활오일이 누설되

는 것을 방지하기 위하여(oil-free) 임펠러의 출구 하단에서 압축공기의 일부를 빼내어(bleed) air seal 쪽으로 보내는 이차유로(secondary flow net) 설계기술이 더욱 중요하다. 특히, 프로세스 압축기의 경우에는 가스의 누설을 방지하는 sealing 이 매우 중요하기 때문에 일반 공기압축기에서 사용하는 seal보다도 더욱 정밀하고 우수한 seal (예를 들면, dry gas seal)을 설계해야 한다. 고속 회전으로 인하여 증속기어의 정밀도도 더욱 요구되어 보통 AGMA-12이상의 수준을 필요로 하고, 베어링 또한 최소한 tilting-pad type이어야 하며 때로는 hydro-static film damping type도 쓰인다.



Fig. 5 Variable Diffuser Vane

Single-shaft type의 프로세스 압축기의 경우에는 회전축의 진동특성이 상대적으로 좋지 않아 이에 대한 고려가 충분히 있어야 한다. 공력

설계 기술과 관련해서는 Atlas Copco사의 제품에서만 볼 수 있는 가변형 디퓨저 베인(Fig. 5)이 주목을 끈다. 기존의 IGV와 함께 디퓨저 베인의 설치각도를 제어함으로써 부분부하 특성을 향상시켜 운전범위를 더욱 확장할 수 있다고 알려져 있다.

## 후 기

공조용 터보압축기의 현황과 관련한 전반적인 내용을 소개하면서 저자 나름대로는 산재되어 있던 자료와 정보를 정리하는 계기가 되었다고 생각되나, 직접 관련분야에 수십 년간 종사하신 전문가 입장에서는 부족한 점이 많으리라 본다. 그러나 최근 수년 사이에 터보압축기에 관심을 갖기 시작하는 국내 산·학·연 전문인력의 수가 증가하는 추세에 맞추어 그들의 연구개발 방향에 조금이나마 도움이 되길 바라면서, 끝으로 국내 유체기계, 특히 터보압축기 분야의 발전을 위해 다 함께 매진했으면 한다.

## 참고문헌

1. 오종식, "Semi-Real Gas 모델링을 이용한 냉매 원심압축기의 공력설계법 제안," 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp.414-419, 1997.
2. Centrifugal Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Service Industries, API Standard 617, 1995.