

공조용 용적형 압축기 기술 동향

Trend of Compressor Technology for Air Conditioners

이 운 섭

U. S. Lee

1. 서 론

가정용 룸 에어컨과 상점, 사무소, 빌딩용으로 사용되는 패키지 에어컨은 쾌적공간을 실현할 수 있기 때문에, 수년 전부터 광범위하게 보급되고 있고, 그 기술도 매년 다양하게 진보하고 있다. 가정용 룸 에어컨은 최근 매년간 국내 보급 대수가 급상승하여 '97년에는 110만대 수준의 보급율을 나타냈으나, IMF이후 점차적으로 감소해 '99년은 '97년의 50% 수준인 50만대 수준으로 떨어졌으며 세대보급율이 약 30% 미만인 것으로 조사되었다.

한편 점포, 사무실, 빌딩등에서 이용되는 패키지 에어컨은 연간 국내 수요 대수가 약 3~15만대 수준으로 되어 있다. 패키지 에어컨은 대수적으로는 룸 에어컨에 비해서 적지만, 1대당 공조 능력은 수배에서 수십 배로 크기 때문에, 그것에 의한 소비 전력, 환경 등의 영향은 룸 에어컨에 못지않게 차지하는 비중이 크다. 이들 공조 장치의 보급에 따라 환경면, 에너지면에서의 사회적 영향에 대한 중요성이 더욱 크게 되고, 이것을 개선하기 위한 기술개발이 시스템적이고, 체계적으로 진행되고 있다. 특히 미국, 유럽, 일본 및 국내에서도 에너지 소비효율 표기를 의무화하여, 냉동공조기기의 고효율화에 메이커측의 끊임없는 기술개발을 유도하고 있으며, 또한 환경과피 관련한 대체냉매 조기적용 및 소음/진동 또한 소비자의 다양한 요구에 부응하기 위한 SALES POINTS로서 각 업체마다 개발에 총력을 기울이고 있는 실정 이다. 이러한 냉동,공조시스템에서 가장 중요한 역할을 하는 기계이고, 흡입,압축 및 토출 과정을 거쳐 냉매가스를 순환시키는 사람에서의 심장의 역할을 하고 있는 것이 압축기이다. 압축기는 공조 장치 전체의 소비 전력의 80%에서 90%를 점하고 있어, 시스템의 소비전력절감, 소음/진동 저감 및 환경 대응 기술개발의 핵심포인트가 되는 기구 메카니즘이다. 최근

의 압축기 기술은 나날이 진보되고 있고 또한 현저하게 발달되고 있고 계속해서 이에 대한 기술은 끊임없이 개발되고 다음과 같은 점에서, 더더욱 가속해서 개발이 진행될 것으로 판단되어진다.

- 1) 오존층 파괴 계수가 0인 환경에 친숙한 HFC냉매용 압축기 기술
- 2) 로타리압축기에 있어서, 성능향상 기술
- 3) 스크롤 압축기에 있어서, 압축비 변화 대응, INVERTER화 및 성능향상 기술
- 4) CAE기술 이용한 압축기 최적화 기술

본고에서는 룸 에어컨과 패키지 에어컨에 사용되는 밀폐형 소형 압축기를 중심으로 하여, 대체냉매용 압축기 기술, 로타리 압축기와 스크롤 압축기의 성능향상, 소음/진동 저감기술등에 대해서, 최근의 기술동향 중심으로 간략히 소개하고자 한다.

2. 공조용 압축기의 구조적인 특징

일반적으로 공조용 압축기는 크게 3가지 형태로 분류할 수가 있다. 각각의 구조적인 특성을 살펴보면 그림 1 또는 그림 2와 같으며 기구의 특성은 다음과 같다. 고전적으로 많이 사용되고 있는 왕복동형 압축기는 크랭크축의 회전운동을 피스톤의 직선 왕복 운동으로 변환시켜 주는 기구로 이루어진다. 회전형 압축기는 크랭크축의 회전운동을 롤링 피스톤의 회전운동으로 변환시켜 주는 기구로 구성된다. 또한 스크롤 압축기는 크랭크축의 회전운동을 선회 스크롤의 선회운동으로 변환시켜 주는 메카니즘으로 각각은 서로 다른 특성을 갖고 있다.

이에 본고에서 중점적으로 다룬 회전형 압축기와 스크롤 압축기에 대해 좀더 자세히 살펴보면 회전식 압축기는 그림 1에서 알 수 있듯이 저온, 저압의 냉매 기체가 어큐뮬레이터(Accumulator)로부터 압축기로 흡입, 압축, 토출되어 압축기 밀폐용기 내부로 토출된다. 밀폐용기 내부는 고압 상태가 되어 토출 유로를 통해서 토출 파이프로 연통해서 외부로 토출되는 일련의 과정을 거치는 고압

접수일 : 1999년 4월 8일

이운섭 : IG전자 공조기 Comp. OBU 개발부

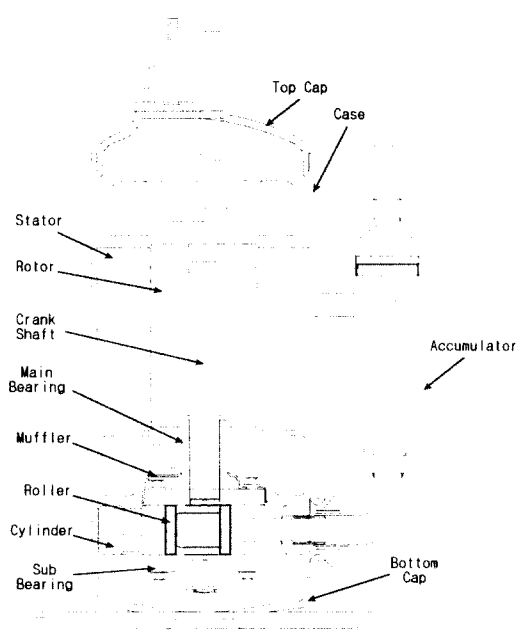


그림 1 로타리 압축기 구조

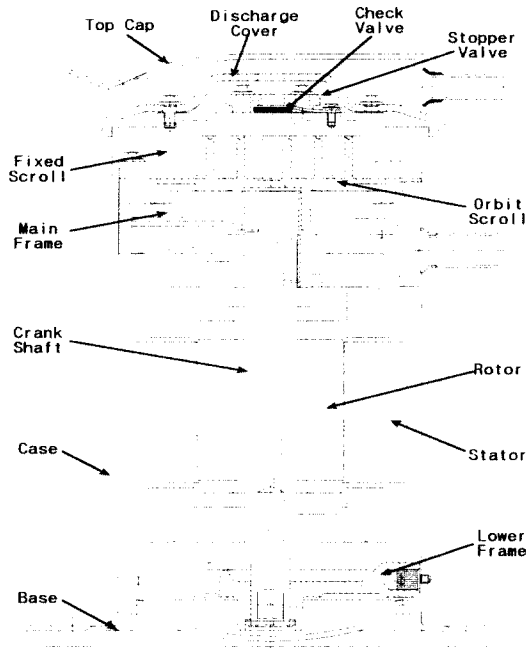


그림 2 스크롤 압축기 구조

토출 방식으로 구성되어 있다.

스크롤 압축기는 냉매 기체가 실린더로 직접 유입되어 밀폐용기 내부로 토출되는 고압 방식과 저온, 저압의 기체가 흡입 파이프로부터 유입되어 압축 기구부를 냉각시키고 난 후 압축 기구부로 유입되어 고온, 고압의 기체로 외부로 토출되는 저압 방식으로 구성되어 있다. 즉, 저압 케이스와 고압 케

이스로 분리되어 흡입은 저압으로 되고 토출 가스는 고압으로 되어 흡입과 토출이 분리되는 시스템으로 구성된 것을 저압식이라 한다.

2.1 회전형 압축기(Rotary compressor)의 구조

회전형 압축기는 그림 1에서 볼 수 있듯이 상면에 상부 캡(Top Cap) 중간에 셸(Shell), 밑부분의 하부캡(Bottom Cap) 외곽에 어큐뮬레이터를 부착해 이를 각각 용접으로 접합된 구조로 되어 있다. 로타리 압축기의 동작 특성은 냉매 기체가 흡입 파이프로부터 흡입되어 어큐뮬레이터를 통해서 일차적으로 싸이클 내부에 일부 잔존하는 슬리지(Sludge) 및 이물질 등을 어큐뮬레이터 내부에 있는 필터로 일차적으로 걸러 준다. 동시에 액냉매가 과다 유입시 한꺼번에 유입되지 못하도록 일정 기간 저장시켜서 기체냉매로 증발시켜 기구부 내부로 유입될 수 있도록 조정해 줌으로 압축기를 보호해 주는 기능을 갖는다. 내부로 유입된 기체냉매는 실린더 내부의 롤링피스톤(Rolling piston)의 압축 과정을 통해서 압축된다. 압축된 기체냉매는 토출구에 접해서 설치되어 있는 공명기(Resonator)를 통해서 밸브를 빠져 나간다. 밸브를 빠져 나온 냉매는 소음기를 통해서 빠져 나오면서 발생된 압력 맥동 성분을 다시 저감 시키면서 내부로 토출된다. 토출된 고온 고압의 냉매는 내부에 형성되어져 있는 토출 유로를 통해서 토출되는 일련의 구조로 구성되어져 있다.

2.2 스크롤 압축기(Scroll compressor)의 구조

스크롤 압축기는 그림 2에서 볼 수 있듯이 상면에 상부 캡, 고압과 저압을 분리시켜 주는 토출커버(Discharge Cover), 몸체 부분을 지지해 주는 외곽케이스(Body shell), 하부에 하부 캡으로 구성되어지며 이들 각각은 용접으로 접합된 구조로 구성되어져 있다. 또한 내부 회전체인 크랭크축을 지지 고정해 주는 상부 프레임, 하부 프레임, 고정 스크롤, 선회 스크롤 등으로 구성되어 있다.

압축 과정을 수행하는 스크롤 압축기의 동작 특성은 흡입관으로 부터 흡입된 냉매가 흡입 배플(Suction baffle)에 부딪혀 일부는 상부의 고정 스크롤에 위치한 흡입구로 유입된다. 또, 일부는 크랭크축의 회전운동으로 저면에 있는 기름과 혼입되어 상부로 흡상되어 내부의 모터를 냉각시킨다. 기체냉매는 고정 스크롤에 위치한 흡입구로 흡입되어 압축되어 고정 스크롤 상면에 부착되어 있는 역지 밸브(Check valve)를 통해서 일단은 토출된

다. 토출된 고온 고압의 기체는 강력한 압력 맥동 에너지를 갖고 있으며 이는 고, 저압분리기 및 소음기 역할을 하는 토출 커버를 거쳐서 어느 정도 맥동에너지가 감소되고, 토출공간을 거쳐 토출 파이프를 통해 토출된다.

3. 대체냉매용 압축기 기술

3.1 공조용 대체냉매

주지하는 바와 같이, 룸 에어컨과 패키지 에어컨 등의 공조용 냉매로서는 R22가 가장 많이 사용되어져 왔다. 이의 주된 이유로는 냉매가 독성이 약하고, 화학적으로 안정적이고, 우수한 열역학적 특성을 가지고 있기 때문이다. 따라서 오존층을 파괴하지 않는 냉매, 즉 분자 중에 염소를 포함하지 않는 냉매의 선정과 이것에 적합한 냉동기유를 이용하여 기존의 압축기대비 동등이상의 효율 및 소음 특성을 유지하는 압축기의 개발이 요구되어졌다.

1992년부터 미국의 냉동공조 공업협회(ARI)를 중심으로 하여 대체냉매 평가를 위한 국제공동 연구가 진행되고 급기야 전세계적으로, 압축기 및 냉동기유 업체의 참가를 기본으로 하여 연구 개발이 강력하게 추진되어져 왔다. 1994년의 대체냉매 국제 심포지움에서는 대체냉매 연구와 대체냉매의 제품 적합성 평가에 대해서 다수 발표가 되었고, 또한 압축기에 대해서는 혼합 냉매용 압축기의 신뢰성 평가와 윤활성 평가 등이 발표되었다. 1996년의 대체냉매 국제 심포지움에서는 대체냉매 실용화의 최신 기술로써, 냉매, 건조제, 윤활유, 압축기 등의 연구 개발이 다수 발표되었고, 압축기에 대해서는 대체냉매 R410A용 압축기의 성능 향상 연구를 중심으로 발표되었다. 대체냉매의 선택 기준으로서의 다음의 3점이 중요하다.

- 1) 오존 파괴 계수 (ODP)가 0이다.
- 2) 지구 온난화 계수 (GWP)가 작다.
- 3) 에너지 효율 (COP)가 높다

또한 대체냉매의 선택에 있어서는 화학적·열적 안정성, 양호한 열역학 특성(沸点 외), 氣液 변화가 용이, 불연성, 독성과 부식성이 없이 안전, 전기 절연성이 높을 것 등이 요구되어진다. 이와 같은 요구를 만족하는 냉매로서는 현재 단일 냉매로서는 후보 군이 없고, 결국 후보 냉매로서는 표 1에 나타난 2종류 혼합 냉매인 R410A(32/125의 혼합 냉매) 및 3종류 혼합 냉매인 R407C(32/125/134a의 혼합 냉매)를 채택하고 있다.

표 1 대체냉매 특성

Tc=50℃, Te=0℃, P : Pressure

Refrigerant	R22	R410A	R407C
Composition		32/125	32/125/134a
(WT %)		(50/50)	(23/25/52)
ODP	0.055	0	0
GWP	1700	1730	1530
Cooling capacity ratio	1	1.42	0.95
COP ratio	1	0.92	0.93
Condensing P.	1.94	3.06	2.1
Pressure ratio	3.9	3.8	4.1

이 R410A 냉매는 HFC의 2종류 혼합 냉매이지만, 유사 共沸 냉매이고, 증발과 응축시의 온도 구배는 거의 없다. 압력은 응축 압력이 3MPa을 넘고, 현상태의 R22보다 약 5% 정도 높게 되지만, 압축비는 R22와 거의 동등이다. 또한 R410A는 냉매 가스의 밀도가 1.6배 높기 때문에 압축기의 행정체적을 줄일 수 있어 압축기의 소형화가 가능하게 된다. 이론 COP는 R22에 비해서 약 10% 정도 낮고, 압축기의 효율 향상이 과제가 되고 있다. 한편 R407C는 HFC의 3종류 혼합 냉매이지만, R22와 매우 가까운 열역학적 성질을 가지고 있고, 압축비도 R22와 큰 차는 없지만, 이론 COP는 R22보다 약 3% 낮다. 결점으로서의 혼합 냉매의 특징인 온도 구배가 있고, 냉동 사이클의 증발기에서 着霜 문제가 일어날 수 있다. 이들 대체 냉매용 밀폐형 압축기 및 공조 기기의 개발은 전세계적 규모로써 강력하게 추진되고 있고, 특히 룸 에어컨에 대해서는 일부이지만 상품화되어 최근 시장에 등장하고 있다.

3.2 대체냉매용 압축기

3.2.1 성능 확보

대체냉매를 이용한 압축기의 성능(냉동능력, 입력, 에너지 효율(COP))을 확보하기 위해서는 압축기 구조의 최적화, 냉동기유의 선정 등이 중요하다. R410A의 이론 효율은 앞 장에서도 설명했듯이, R22에 비해서 10% 정도 낮게 되지만 압축기 내 가스의 비용적은 R22보다 작게 되기 때문에, 동일 배관 직경과 동일 통로 면적인 경우에는 유동에 수반하는 압력 손실은 작게 되고, 효율면에서는 유리하게 된다. 신냉매용 압축기의 개발에서는 이 냉매 물성의 장점을 살려서, 압축기의 각부 구조의 최적화를 이루고, 각 부에서의 손실을 저감하

여 실기에서 R22이상의 에너지 효율을 실현하는 것이 최대의 목표이다.

성능향상 대책으로써 (1) Crank축의 편심량과 실린더 높이 변경으로 행정체적을 최적화. (2) 냉동기유의 점도 최적화로, 냉매 물성치에서 얻어진 이론 COP보다 높은 COP값을 얻고 있다. 이 결과 R410A냉매를 이용한 로타리 압축기에서는 최적화 설계를 하면, 거의 R22와 동등한 수준의 COP를 얻는 것이 가능하다. 특히 인버터의 경우 실사용상 운전하는 빈도가 많은 저주파수 운전 범위에서 R22이상의 COP를 얻는 것도 가능하다. 이것은 R410A의 경우는 R22에 비해 냉매 가스의 밀도가 크기 때문에 흡입 및 토출 포트 유로 저항에 의한 과압축 손실과 재팽창 손실이 줄기 때문이다.

R410A냉매를 이용한 스크롤 압축기의 성능향상을 위해서는 특히 압축실간의 누설손실 저감과 트러스트 베어링의 손실저감이 중요하다. 구체적인 개선책으로서는 1) 스크롤 압축기의 체적비의 변경에 의한 저압축비 조건에서의 과압축 방지, 2) 스크롤 순응구조의 최적화, 3) 트러스트 베어링 면적 확대에 의한 면압 저하등이 있고, 이들 대책을 적용한 스크롤 압축기에서는 거의 R22와 같은 수준의 효율을 얻고 있다.

3.2.2 신뢰성 확보

R22의 대체 냉매인 R410A와R407C냉매는 염소분자를 포함하지 않는 것이기 때문에 냉매에 의한 윤활 작용이 약하고, 압축기 베어링부 윤활 상태도 열악하다. 압축기의 신뢰성을 확보하기 위해서는 베어링 특성, 냉동기유와 재료의 개발이 필요하다. 냉동기유와 재료의 개발에 대해서는 냉동기유의 평가 선정, 로타리 압축기의 베인과 롤링 피스톤의 조합된 평가 선정, 스크롤 압축기의 베어링 재료의 평가 선정등의 보고가 있다. 또한 베어링부의 윤활성을 평가하는 방법으로, 종래 금속 접촉법이 있지만 이것을 신냉매의 베어링부의 윤활성 평가에 채용한 예가 최근 보고 되어 있다. 베어링을 대상으로 R410A/POE유를 이용했을 때 베어링과 절연하여 대립한 금속전극과 축이 접촉했을 때의 신호를 검출하는 방법으로 로타리 압축기 베어링의 유막 형성 상태를 측정한다. 운전중의 축과 베어링과의 금속 접촉 상황이 한 눈에 해석할 수 있기 때문에 편리하다. 또한, 베인과 롤링 피스톤 간의 유막 형성 상태를 전극을 부착한 세라믹 베인을 만들어서 측정하는 방법도 보고되고 있다.

3.3 대체냉매 압축기의 성능 비교

R22냉매를 이용한 경우 로타리 압축기, 스크롤 압축기의 효율을 왕복동식과 함께 비교하여 그림1에 나타냈다. 압축기 효율은 회전수와 압축비의 영향을 받아서 변하지만, 그림에서는 압축비는 같고, 회전수가 3600rpm일때의 압축기 효율의 개략값을 추출하여 압축기 입력을 취하여 나타냈다. R22냉매에 있어서는 일반적으로 로타리 압축기에서는 2kw이하에서 효율이 높고, 한편 스크롤 압축기에서는 1kw이상에서 효율이 높은 경향이 있다. 대체냉매를 이용하면, 로타리 압축기와 스크롤 압축기의 성능에서 어느쪽이 유리하게 작용하는 것인가? 또한 대체냉매 압축기로서의 잠재력은 어느쪽이 높을 것인가? 하는 검토가 진행되고 있다.

최근 신냉매로서 R410A 및 R407C를 대상으로 하여 로타리 압축기와 스크롤 압축기의 효율을 추정된 보고가 있다. 이 결과에 의하면, R410A의 경우 로타리 압축기의 효율이 스크롤 압축기에 대해서 상대적으로 유리하게 되어 로타리 우위의 영역은, 현재 가정용 에어컨에서 소형의 업무용 공조기의 능력대역까지 확대하는 가능성이 있다고 하고 있다. 한편 R407C에서는 우열의 관계는 R22일 때와 기본적으로 변하지 않는다고 추정하고 있다.

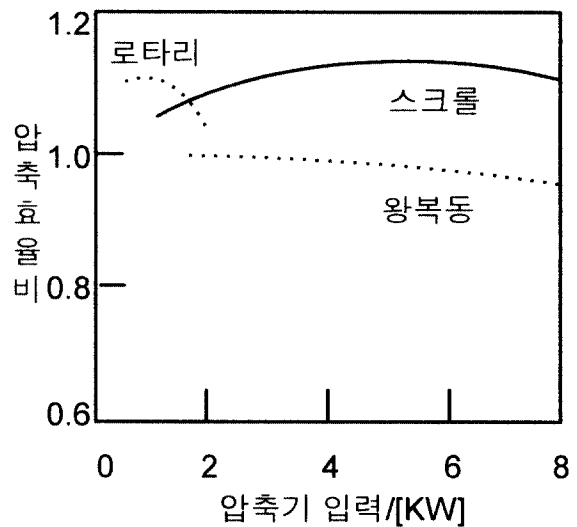


그림 3 압축기 성능 비교

4. 로타리 압축기

로타리 압축기의 연구 개발은 이전에 소개된 대체 냉매 기술외, 고효율화 기술, 신뢰성 향상 기술, 소음 저감 기술등을 활발하게 진행하고 있다.

4.1 효율 향상

압축기의 효율(η_{comp})은 전동기(모터) 효율(η_{mo}), 기계 효율(η_{mc}), 압축 효율(η_c)에 의해 좌우되고, 다음 식의 관계가 있다.

$$\eta_{comp} = \eta_{mo} \times \eta_{mc} \times \eta_c \quad (1)$$

또한 압축기의 실제 유량은 행정체적으로 부터 이론적으로 구한 이론 유량보다 감소하고, 이론 유량에 대한 실제 유량의 비를 체적 효율이라 부른다. 일반적으로 이 체적 효율이 높은 만큼 압축 효율이 높게 된다. 따라서 압축기의 효율을 향상하기 위해서는 각 요소 효율을 각각 향상시키는 것이 중요하고, 기술 개발이 다수 진행되어 있다.

4.1.1 체적효율 향상

행정체적을 결정하는 주요 Spec.은 실린더 직경, 실린더 높이, 롤러 직경이다. 이 조합의 여하에 따라 각 습동부에서 생기는 하중과 습동 손실이 다르고, 기계 효율과 신뢰성에 영향을 끼치는 동시에, 누설 면적과 누설 길이가 달라서, 압축 효율과 체적 효율에도 크게 영향을 미친다. 실린더 높이(H)와 실린더 직경(D)의 비 (H / D)와 효율과의 관계에 있어서 H / D 를 작게 하는 만큼 총합 효율은 증가하지만, 약 0.5 에서 최고 효율점이 생기고, 이것보다 H / D 를 작게 하면 역으로 효율은 저하한다. 이 이유로서는 실린더 높이 H를 매우 작게 하면 행정체적을 유지하기 위하여 편심량을 증가시켜야 하므로 베인의 하중이 증가하여 습동 손실이 증가하기 때문이다.

표 2 베인 틈새에 따른 기계효율

베인 틈새 (μm)	기계 효율 (%)	기계 손실 (W)
19	90.7	49.2
29	90.2	52.2
49	89	59

4.1.2 기계 효율의 향상

베인 측벽의 습동 손실을 저감하는 목적으로, 습동 손실의 의존 인자와 양호한 윤활 상태를 확보하기 위한 베인 재료와 베인 구멍의 특성을 규명하는 연구를 하고 있다. 베인 측벽의 습동 손실은 베인과 베인 측벽과의 간격, 베인 재료의 기계적 강도(Young율)과 표면 조도에 영향을 끼치기 때

문에 적절한 선정이 필요하다. 베인 틈새에 대한 기계 효율과 기계 손실의 실험 결과를 표2에 나타냈다. 또한 로타리 압축기의 습동부의 윤활 상태를 실험적으로 파악, 경계 윤활부의 개선과 저점도유에 의해서 실현할 수 있는 기계 효율의 한계값을 92.4 %로 추정한 보고도 있다.

4.1.3 압축 효율의 향상

로타리 압축기의 피스톤 단면부 누설에 있어서 오일의 실링 효과 (R22와 광물유의 조합)를 파악한 보고에 의하면, 냉매에 오일이 10 % 정도 혼입하면 냉매 가스만의 경우에 비해서 누설량은 약 1/3 으로 감소하고, 이 이상 오일을 증가해도 별로 변하지 않는다.

4.1.4 모터 효율의 향상

로타리 압축기용 모터로서는 종래 유도 전동기가 주로 이용되고 있지만, 최근에서는 특히 인버터 기종에 있어서, 고효율의 브러쉬리스 모타가 룸 에어컨에서 널리 사용되어지고 있다. 회전자의 구조는 자석을 회전자의 내부에 배치한 구조(자석 매립형)가 일반적이다. 이 DC 모타를 이용하면 종래의 AC 모타에 비해서 효율이 약5% 향상한다. 특히 낮은 Hz운전시의 효율이 대폭 향상하기 때문에 공조기의 연간 전기세를 대폭 절약할 수 있는 잇점이 있다.

4.2 신뢰성 향상

로타리 압축기에서는 베인 선단과 롤러의 윤활은 선접촉에 가까운 상태로 되고, 미끄럼 속도도 작기때문에 통상 경계 윤활 상태에 있고, 적절한 재료 선정, 길이 선정이 중요하다. 이 베인선단의 마찰을 예측하기 위해, 마찰 센서를 베인 선단에 매립하고, 실기 운전 상태에서 마모 시간 의존성을 조사하여 마모 예측식을 얻은 보고가 있다. 베인 선단의 마모 깊이와 습동 거리와의 관계는 양대수 graph로써 지선으로 되는 것으로 부터, 베인 선단의 마모 깊이(h)를, 헤르쯔 접촉력(Pmax), 베인 선단의 습동 거리(L)을 이용해서 다음식(n,m은 정수)로 표현하고 있다.

$$h = P_{max}^n \cdot L^m \quad (2)$$

4.3 유동 해석

압축기의 유동 해석에 관해서는 압축기의 성능·효율, 소음·진동, 신뢰성 등과 관련하여 많은 연구가 되고 있다. 공조용 로타리 압축기는 고압

용기 방식이 일반적이며, 흡입밸브는 없고 토출 밸브가 있는 구조적 특징으로 하기연구를 많이하고 있다.

- 1) **흡입계의 압력 맥동:** 성능, 냉동능력, 또는 소음·진동에 영향을 미친다.
- 2) **토출계의 압력 맥동:** 토출 밸브에 의한 간헐적인 토출로 인해 발생하는 압력 맥동이 소음·진동원이 되며 실린더내 과압축량은 압축기 성능에 영향을 미친다.
- 3) **토출 밸브 주위의 유동:** 실린더내 토출 유로와 밸브 주위 유동은 압축·토출 과정에서의 체적 변화와 밸브 동적 거동과 밀접한 관련이 있으며 실린더내 과압축량은 성능과 소음에 직접적인 영향을 미친다.
- 4) **잔존 가스의 재팽창 유동:** 토출 포트등 DEAD-VOLUME(잔존가스) 성능, 소음에 영향을 미친다.

흡입계의 압력 맥동에 관해서는 Gas Dynamic Model을 이용한 흡입계 압력 맥동의 해석 및 과급 현상의 측정과 해석을 행한 보고 등이 있다. 이 과급 현상에 대해서는 종래부터, 알고 있는 것이지만, 압축기 회전수가 변화 (2500~9000 rpm)하면, 체적 효율에서 약 20% 변화하는 것을 나타내고 있다.

이 과급 현상에 의해서 체적 효율이 100%를 넘는(과급 현상) 경우가 희귀하지 않지만, 그 만큼 압축기의 입력이 증가하기 때문에 효율 향상에는 통상 결부시키지 않는다.

토출계의 압력 맥동에 관해서는 로타리 압축기의 고압 용기내의 압력 맥동을 전달 매트릭스법을 이용해서 검토한 보고가 있고, 인버터 제어에 의한 압축기의 고속 운전시에 발생하는 토출계의 압력 맥동이 전동기 회전자계의 상하 진동의 원인으로 되는 것을 나타내고 있다. 또한 토출실의 토출밸브실에서 분지한 공명실(side branch resonator)을 설치한 경우의 압력 맥동의 해석법과 그 저감 효과를 명확하게 보고한 예가 있다. 또한 복잡한 토출 관로계에 있어서 토출 압력 맥동을 헤름 호르쯔의 공명 모델(time domain Helmholtz resonator model)를 가지고 해석한 보고도 되어 있다. 토출 밸브 주위의 유동에 관해서, CFD(Computational fluid dynamics)에 의한 해석법의 보고가 있다. 이 3차원의 유동 해석법으로 정리한 흐름 벡터의 양으로서 성능, 소음을 예측하기도 한다. 또한 틸트 용적의 재 팽창과 과압축의 영향에 대해서 해석한 다른 보고가 있다. 토출 포트에 번거롭게 찢어진 통로의 각도(cutout angle)가, 압축기의 성

능에 영향을 미치는 것을 이해할 수 있다. 이 예와 같이 토출 포트의 형상만이 아닌, 토출 포트에서 번거롭게 찢어진 통로에도 성능적으로 좋은 최적 형상이 의존하기 때문에 설계에는 주의를 요한다.

5. 스크롤 압축기

스크롤 압축기는 회전식의 일종으로 소용돌이 형상을 가지는 고정 스크롤과 회전 스크롤을 조합시켜 압축 작용을 얻는 방식이다. 회전중의 토오크 변동이 작아 smooth한 압축 작용으로 정속 운전이 가능하다는 것, 고효율로써 가변속이 가능하다는 것 등의 특징을 가지고 있다.

이 스크롤 압축기의 원리는 1905년에 프랑스인인 Creux에 의해 발명되었지만 오랜 시간 실용화 되지 못했다. 1970년대가 되어서 미국 ADL에서 광범위한 연구 개발이 시작되었으며, 일본 HITACHI사에서 1983년에 처음으로 상업화에 성공한 이후 미국을 중심으로 우리나라에서도 1990년도부터 연구가 되어 상업화에 성공하였다. 또한 1989년에는 가정용 1마력(750 W)급 룸 에어컨용 가변속 스크롤 압축기가 실용화되어 있다. 금일에서는 이 스크롤 압축기의 용도는 점포와 사무소용의 패키지형 공조기, 룸 에어컨, 카 에어컨, 열차 공조기 등 광범위하게 사용되고 있다.

이 스크롤 압축기는 아직 실용화된지 10 수년밖에 흐르지 않아서, 새로운 압축기이기 때문에 새로운 용도를 위한 구조 개발, 성능 향상, 신뢰성 향상, 소음 저감, 해석에 의한 최적화등의 연구가 활발하게 행하여지고 있다.

5.1 기본 원리

압축기의 구조로써 종형과 횡형의 구별이 있고, 용도와 상품의 목적에 의해 사용되어 지고 있다. 패키지형 공조기에서는 종형과 횡형의 구조가 일반적이지만, 구성상 높이 제약이 있는 자동차용과 열차용 공조기에서는 횡형의 구성이 주로 채용된다. 또한 룸 에어컨용으로서는 종형외, 소형화·COMPACT화를 목적으로 한 횡형의 스크롤 압축기도 실용화되어 있다. 기술적으로는 트로코이드 용적식 오일 펌프, 오일 토출 억제기구 등의 개발에 의해 횡형화를 실현하고 있다.

또한 중소 규모의 빌딩 공조용으로써, 스크롤 유니트 2대(inverter구동 압축기와 일정속도 압축기를 1대의 case에 수납한 새로운 type의 scroll압축기도 실용화되어 있고, 대폭인 능력이변폭, 높은

신뢰성,고효율인 운전을 가능하게 하고 있다
car aircon용에서는 고효율인 연속 용량제어부착 scroll압축기가 실용화되어 있고, 쾌적 공조성의 향상, dribility 향상, 경제성의 향상(연비의 향상)을 실현하고 있다

5.2 Scroll 형상

스크롤 형상은 압축실의 특성 그것을 특징으로 하는 것으로서 중요하고, 흡입 행정, 압축 행정, 토출 행정을 지배하고, 압축기의 성능·신뢰성 등에 중요한 영향을 미친다. 이 스크롤 형상에 요구되는 특성으로서는 이하의 점이 중요하다.

- 1) 소형화: 스크롤압축기의 소형화를 위해서는 스크롤 형상을 작게하는 것이 효과적이고, 작은 스크롤 형상에서 필요한 압축비를 얻을 수 있는 스크롤 형상이 바람직하다.
- 2) 강 도: 스크롤의 중앙부분에서는 압축 가스에 의한 큰 힘이 작용하기 때문에, 강도적으로 우수한 스크롤 형상으로 할 필요가 있다.
- 3) 성능: 토출 종료시의 Top clearance 용적은 재팽창에 의한 동력 손실로 되기 때문에, 가능한 한 작게 한다. 한편, 토출을 위한 통로 면적은 적절하게 확보하는 것이 필요하고, 부족하면 과압축을 일으키고, 동력 손실로 된다.
- 4) 소음·진동: Top clearance 용적을 가능한 한 작게 하고, 재팽창시에 생기는 고주파 압력 맥동을 없게 하는 것이 소음·진동저감의 점에서 중요하다.

이상과 같이 스크롤 형상은 압축기의 소형화, 스크롤의 강도, 성능, 소음 진동에서 매우 중요하고, 이 관점으로 부터의 연구가 행하여져 왔다

스크롤 형상을 형성하는 곡선으로서는, 기본적으로는 인볼류트 곡선이 일반적으로 이용된다. 원의 펼쳐 열리는 각인 인볼류트 곡선에서는 다음식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} x &= a(\cos\phi + \phi\sin\phi) \\ y &= a(\sin\phi - \phi\cos\phi) \end{aligned} \quad (3)$$

원의 인볼류트를 이용한 스크롤 압축기에 대한서의 기하학적 이론에 관한 논문이 있고, 원의 인볼류트의 창출법과 그 원리에 대해서 서술하는 동시에 압축실 용적의 변화, 압축 운전시의 가스 하중, 구동 토크등을 도출하고 있다.

이 이유로서는 (1) 소용돌이의 감김각에 따라서 관두께가 변화할 수 있어 강도면에서 뛰어난 스크

롤 형상이 얻어지는 것 (2) 축회전각에 대한 작동실의 용적 변화의 정도를 선택하는 것이 가능한 것에 의한다. 이 대수 나선의 기초식은 극좌표계 (r, ϕ) 에서는, 식 (4)로 나타내고, k 를 변화시키는 것에 의해, 용이하게 소용돌이의 pitch를 변경할 수 있다.

$$r = a\phi^k \quad (4)$$

스크롤의 중앙부의 형상은 스크롤 압축기에 있어서 특히 중요하지만, 이 형상은 Top clearance 용적을 0으로 가능한 한 없애고, 강도적으로 가장 필요한 중앙 부분의 소용돌이의 강도를 향상할 수 있다.

또한 고압축비를 얻기 위해, 높이 방향에 단차가 있는 스크롤 형상도 제안되어 있다.

스크롤의 외측형상에 관해서는 스크롤 齒面에 tape cut를 설치하여, 齒面 접촉 강성을 매끄럽게 변화시키는 것에 의해 흡입 정체점에서의 스크롤 齒面에서의 충격음을 저감했다고 하는 보고가 있다.

5.3 효율 향상

스크롤 압축기의 효율 향상을 위해서는 로타리 압축기와 같이 모터의 효율 향상, 기계 효율의 향상, 압축 효율의 향상이 필요하다.

5.3.1 주요 Spec. 최적화

인볼류트 곡선으로 구성되어지는 스크롤 압축기의 경우, 흡입 용적을 결정하는 주요 제원은 스크롤 높이, 기초원 반경, 스크롤 wrap의 두께, 감김수이다. 흡입 용적이 같더라도 이 4개의 조합은 몇 가지 방법도 존재한다. 이 주요 제원의 최적화에 있어서 고려해야할 것은 1) 소형화·저소음, 2) 고효율화, 3) 고신뢰성, 4) 저진동·저소음, 5) 생산가공성, 6) cost 등이다. 압축기에 있어서, 고성능 특히 고효율 운전이 가능한 것이 중요하고, 다수 연구가 진행되어 있다.

인볼류트형 스크롤 압축기의 주요 제원에 대해서, 효율 향상을 위한 최적 설계법에 관한 일련의 연구가 있고, 실린더 내경을 일정하게 한 경우의 스크롤 높이, 기초원 반경, 감김수의 최적 조합의 검토. 기계 효율을 최대로 하는 실린더 외경의 최적값에 관한 검토 기계 효율과 체적 효율 향상을 위한 최적 설계에 관한 검토가 보고되어 있다.

5.3.2 고효율 스크롤 압축기

공조기의 성에너지를 목표로 하여, 고효율 스크롤 압축기의 개발이 계속적으로 진행해 있다. 만, 토출 밸브가 없기 때문에 유체 손실이 작고, 또한 누설량이 작기 때문에 왕복동식과 로타리식에 비해서 효율적으로 유리하다고 그 능력을 뽐내고 있다. 이 스크롤 압축기는 10년 남짓 연구 개발의 결과로서 만들어진것 으로서 축 방향·반경 방향의 compliance, 모터의 로타 양측에서의 베어링 지지 등 여러가지 인자의 조합으로 종래의 왕복동식에 비해서, 효율이 7~10%, 소음은 4~6 dBA 의 대폭적인 성능 향상을 실현하고 있다.

Aircon운전시의 압축비가 변화해도 고효율을 유지하기 위한 대응으로써, 압축 도중에 가스를 bypass하는 bypass기구부착 스크롤 압축기와, 선회 스크롤의 배압실의 압력을 제어하는 배압 제어 밸브와 과압축을 제어하는 bypass밸브를 조립한 배압 밸브식 스크롤 압축기가 있다.

5.3.3 기계 효율의 향상

스크롤 압축기의 기계 손실 분석 결과 기계 손실은 고속 회전에서는 journal베어링(drive 베어링, 상부 베어링, 하부 베어링), 저속 회전에서는 thrust 베어링의 습동 손실이 접하는 비율이 크다. 또한 스크롤 압축기의 thrust ring부의 습동 손실에 대해서, thrust ring형상, 표면 조도, 유점도등의 영향에 대해서 실험적으로 연구한 보고도 있다.

5.3.4 압축 효율의 향상

스크롤 압축기의 압축효율에 영향을 미치는 인자로서는 1)흡입 통로에서의 가스의 가열, 2) 흡입 과정에서의 유동 손실(과팽창량), 3) 압축 과정에서의 압축실 틈새로 부터의 누설량, 4) 압축과정에서의 실린더 측벽과의 열교환, 5) 토출 과정에서의 유동 손실(과팽창량), 6) Top clearance 용적의 잔존 가스의 재팽창, 7) 설계압축비와 운전 압축비의 벗어남에 의한 과압축 또는 부족 압축, 8) 흡입 통로와 토출 통로의 압력 맥동, 9) 윤활유등 설계에 있어서는 충분히 고려할 필요가 있다. 또한 체적 효율에 영향을 미치는 인자로서는 가스의 누설 손실과 흡입가스 가열 손실이 주된 것이다. 압축비가 상승하면 체적 효율은 주로 흡입 가스의 가열 손실에 의해 저하하고, 동력 손실은 압축 부족 손실(under compression loss)에 의해 증가하고, 압축 효율이 저하한다.

스크롤 압축기의 누설에 대해서 스크롤의 축방향 틈새와 성능의 관계를 scroll wrap에 전극을 매

설하여 접촉 부위의 분포를 조사하여 틈새와 성능의 관계를 검토한 보고 및 선회 스크롤 端板의 FEM변형 해석과 실기 계측을 하여 최적의 누르는 힘(배압력)에 대해서 검토한 보고 등이 있다. 또한 누설량이 효율에 영향을 미치므로 해서 습동하는 스크롤의 운동을 실기 운전시에 계측하는 방법, 스크롤 압축기의 압축실내에 액냉매를 주입한 경우의 압축기 단품 성능 및 사이클 성능, Oil injection 이 효율 향상과 소음저감에 효과가 있다는 것을 나타낸 보고가 있다.

6. 결 론

룸 에어컨과 패키지 에어컨에서 사용되는 공조용 압축기를 대상으로 해서 대체 냉매용 압축기 기술, 로타리 압축기와 스크롤 압축기의 성능 향상 기술, 해석 기술등에 대해서 최근의 기술을 중심으로 소개했다.

룸 에어컨의 시장의 흐름은 냉방 전용에서 히트 펌프로, 그리고 가변속 에어컨의 진보가 있고, 1 방에 1대의 방향으로 대수도 증가하여 광범위하게 보급하는데 이르렀다. 룸 에어컨용 압축기로서는 로타리 압축기의 가변속화, 2 실린더화, DC 모터 탑재화 등의 발전과 동시에, 스크롤 압축기가 가정용으로도 등장, 이들 신기술에 의해 대폭 성에너지와 쾌적성 향상을 실현하고 있다.

패키지 에어컨의 시장에서는 같은 형태로 히트 펌프화, 가변속 에어컨화가 진행되는 동시에 빌딩용 멀티 시스템도 등장했다. 사용되는 압축기로서는 왕복동식, 로타리식, 스크롤 압축기가 등장하여 각각의 용도에 따라 사용되어지고 있다.

이제 수년은 지구환경 문제로서 프레온의 오존층 파괴의 문제, 지구 온난화 문제에 직면하여, 공조기의 신냉매 대응 기술, 특히 신냉매용 압축기의 개발, 고효율 압축기의 개발이 전세계적 규모로 행해지고 있다. 대체 냉매의 후보로서는 오존 파괴계수가 0인 R410A, R407C가 유망하고, 룸 에어컨용으로는 R410A를 이용한 공조기가 시장에 일부 등장하고 있다.

공조기의 심장인 압축기는 공조기의 성에너지, 쾌적성 향상등에서 한층 중요한 역할을 가지고 있고, 신냉매의 사용, 공조기로서의 용도 확대에 수반하여, 사용 조건의 확대등에 대응해야 하는 기술의 고도화·세련화를 위한 개발이 추진되고 있다.