

스크류 압축기의 연구개발 동향

이대영*, 김영일*, 남임우**

Research Trend in Screw Compressor Development

Dae-Young Lee*, Youngil Kim*, Leem Woo Nam**

Key Words : Screw Compressor (스크류 압축기), Operation Principle(작동원리), Research Trend(연구동향)

ABSTRACT

The screw compressor is first invented by a Swedish engineer, Alf Lysholm in 1934. Since then, the development of the screw compressor idea for industrial applications has been continued by the Swedish research organization Svenska Rotor Maskiner, often identified by its initials SRM. The first industrial application of the machine was marketed as an air compressor in the 1950s. The screw compressor which is a positive displacement type compressor compresses gases by the rotation of a pair of mating rotors. The operation of this compressor is entirely rotary and dynamically in balance. Also there is no need for any valve mechanism and there exists less mechanical wear between the parts compared to the conventional reciprocating compressors. Due to these prominent features, the screw compressor has been rapidly spread into the air compressor market replacing the conventional reciprocating compressors and begun to be applied as a refrigerant compressor since the 1960s. In this work, the operation principle of the screw compressor is described in brief and the major design parameters affecting the compressor performance are classified. The international research trend in screw compressor development is introduced and the current situation in our country is described.

1. 머릿말

우리나라의 에너지 소비량은 산업규모의 팽창과 더불어 지속적으로 증가하고 있으며, 최근에 들어서는 생활 수준의 향상으로 인하여 쾌적한 주거 및 사무환경에 대한 욕구가 증대됨에 따라, 냉방과 난방 등 공조설비에 의한 에너지 사용량이 급증하고 있다.

국내의 에너지 소비 현황을 분석하면, 1996년 현재 연간 국가 총에너지 소비 중 10%가 사무용이나 상업용 등 비주거용 건물에 사용되고 있는 것을 알 수 있으며, 전력에너지만을 기준으로 할 경우에는 이 비율이 24%에 이르는 것을 알 수 있다.⁽¹⁾ 비주거용 건물의 에너지 소비 중 냉방에 이용되는 에너지가 28%에 달하는 것으로 추정되며, 이 중 대부분이 전력에너지 형태이고 하절기에 소비가 집중되어 있어, 전력수급의 불균형을 초래하고 있다. 1996년 현재 에너지자원의 해외수입 의존도가 97%이상으로 에너지 절약의 필요성이 어느 때보다도 절실히

요구되고 있는 이 때, 비주거용 건물의 냉방시스템을 개선함으로써, 국가적인 에너지 절약 및 전력수급의 안정성을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

대부분의 비주거용 건물에서는 중앙 집중식의 냉방시스템을 적용하고 있어, 에너지의 사용이 국부적인 장소에서 집중적으로 발생하는 특성이 있으므로, 냉방시스템의 개선을 통한 에너지 절약 기술의 보급에 매우 유리하다. 이러한 대규모 냉방시스템의 에너지 효율 개선에 대한 연구는 일부 대형 냉동기 제작회사에서 수행하고 있기는 하지만, 장치 자체의 규모가 크고, 이에 덧붙여 성능시험을 위하여 필요한 부대장치의 규모 또한 커지기 때문에 막대한 비용과 노력이 소요되어 기술개발에 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 이 분야에 대한 국내 연구는 그 파급효과에 비추어 볼 때, 상당히 미흡한 실정에 있으며, 가정용 소형 냉방기나 자동차용 냉방기의 성능향상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 것에 비교하면, 더욱이 활발한 연구개발이 필요한 분야라 할 수 있다.

냉동기는 저온열원에서 열을 흡수하여 고온열원으로 열을 방출하는 장치로, 열원과 열전달을 위해서는 열원과 냉매 사이에 온도차가 필요하나, 이 열전달과정에 개입된 유한한

* 한국과학기술연구원

** (주) 센추리 기술연구소

온도차는 시스템의 비가역성을 증가시켜 에너지 효율을 감소시킨다. 따라서 응축기와 증발기의 열전달 성능을 향상시킴으로써, 열원과 냉매 사이의 온도차를 줄이고, 결과적으로 냉동기의 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

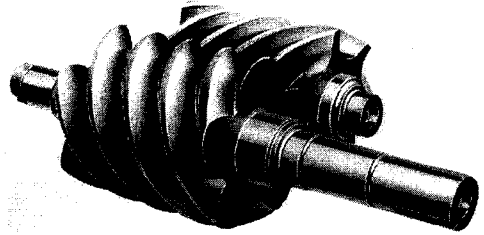
한편 냉동기의 성능을 향상시키기 위한 방안으로는 이러한 열전달 향상 방법 이외에, 압축기의 효율을 향상시키는 방법이 있다. 이에 따라 여러종류의 압축기가 개발되었으며, 설계기술 및 가공기술의 발달과 함께 지속적으로 그 성능이 향상되어져 왔다.

압축기는 크게 용적식과 원심식으로 구분할 수 있다.⁽²⁾ 용적식은 냉매를 흡입하여, 일정한 공간에 가두어 넣고, 그 공간의 체적을 축소시켜 압축하는 방식으로, 이 방식에는 왕복동식(피스톤식), 로터리식, 스크롤식, 스크류식 등이 있다. 원심식은 고속으로 회전하는 임펠러에 의해 냉매증기를 가속한 후, 디퓨저에서 속도를 압력으로 변환하여 압축하는 방식이다. 이러한 여러 형식의 압축기들은 압축원리나 압축기의 구조에 의하여 구분이 되는 것으로, 압축효율의 관점에서 서로 경쟁이 되기도 하지만, 실용적인 측면에서는 압축기의 용량에 따라 특정한 형식의 압축기가 고성능을 발휘할 수 있는 범위가 존재하여, 냉동기 용량에 맞추어 적절한 형식의 압축기가 적용되고 있다.⁽³⁾ 왕복동식과 로터리식, 스크롤식 등은 기본적으로 압축공간의 체적변화가 왕복동 운동이나 편심 운동에 의하여 일어나므로, 진동의 가능성이 있어, 주로 소형 냉동기에 적용되고 있다. 원심식에서는 일정한 압축비를 얻기 위해서 유체가 고속으로 가속되어야 하므로, 임펠러의 크기가 커져야 하고 고속회전하여야 하므로, 대용량의 냉동기에 적합하다. 한편 스크류식은 용적식이면서도 완전한 회전운동에 의하여 압축이 일어나므로 진동이 거의 없어, 대용량의 냉동기에도 적용이 가능한 이점이 있다. 스크류 압축기는 1960년대에 처음 냉동기용 압축기로 적용되기 시작한 이후, 대용량의 왕복동 압축기를 급속히 대체해 나가고 있으며, 현재 10~600RT급의 중대형 냉동기에 널리 적용되고 있다.

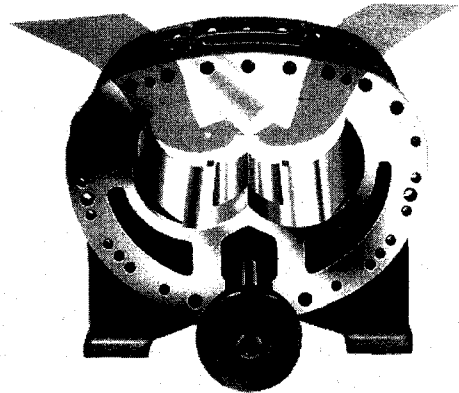
본 논문에서는 냉동기용 스크류 압축기의 작동원리와 스크류 압축기의 성능에 영향을 미치는 여러가지 인자들을 설명하고, 스크류 압축기의 성능향상을 위한 세계적인 연구개발 동향과 국내 연구개발 현황을 소개한다.

2. 스크류 압축기

스크류 압축기는 1934년 스웨덴의 Lysoholm에



(a) screw rotors



(b) case containing rotors

Fig. 1 Rotors and case of a screw compressor

의하여 발명된 이후, SRM(Svenska Rotor Maskiner)사에 의하여 꾸준히 연구 개발되었으며, 1950년대부터 공기압축기로 실용화가 시작되었다. 스크류 압축기는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 케이스 내에 들어있는, 맞물려진 두개의 로터의 회전에 의하여 압축이 일어나므로, 밸브가 필요 없고 마찰에 의한 부품마모가 없어, 왕복동 압축기에 비해 신뢰도가 높으며, 기계적 진동이 거의 없다. 이러한 장점으로 스크류 압축기는 기존의 왕복동 압축기를 채용한 산업용 공기압축기를 빠른 속도로 대체해 나가고 있으며, 1960년대부터는 냉동기용으로도 사용되게 되었다.

2.1 스크류 압축기의 압축원리

스크류 압축기의 압축과정을 Fig. 2에 도시하였다.

- 1) 흡입과정 - 맞물렸던 로터의 홈이 벌어지면서 암로터 치차와 수로터 치차 사이에 빈 공간이 형성되고, 가스가 흡입구로부터 채워진다. 로터가 계속 돌면서 이 공간은 계속 증가하고 냉매의 충전이 계속되며, 이 공간이 로터의 회전에 의하여 흡입구로부터 떨어질 때 흡입과정이 끝난다.



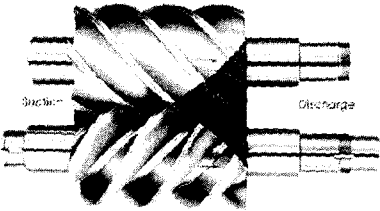
(a) suction phase 1



(b) suction phase 2



(c) suction phase 3



(d) discharge phase

Fig. 2 Compression process.

- 2) 압축과정 - 로터가 계속 회전하면 흡입구쪽으로부터 다시 맞물려지기 시작하는 압수 로터와 토출구쪽 벽면에 의하여 형성된 갭합체적이 점차 감소하면서, 압축이 시작되고, 냉매는 토출구쪽으로 이동한다.
- 3) 배출과정 - 갭합체적과 배출구가 만나는 곳에서 압축이 끝나고 배출이 시작된다.

2.2 스크류 압축기의 누설경로

앞서 설명한 바와 같이, 스크류 압축기에서의 압축과정은 압수로터와 케이싱으로 이루어지는 갭합체적이, 로터의 회전에 의하여, 증감함에 따라 흡입, 압축, 배출과정이 일어난다. 이 갭합체적은 엄밀한 의미에서 완전히 갭혀진 것은 아니며, 로터의 원활한 회전을 위하여, 압수로터와 수로터, 로터와 케이싱 사이에 아주 작은 간극이 존재한다. 따라서 직접 접촉에 의하여 행정체적을 밀봉하는 왕복동 압축기의 피스톤 링과 같이 마모가 일어나는 부분이 없다. 이는 스크류 압축기의 신뢰성이 높고, 평균적인 점접기간이 타 압축기에 비하여 상당히 길어 지게 되는 주요 원인이다. 그러나 한편으로는 갭합체적을 형성하는 압수로터와 케이싱 사이의 간극을 통하여 냉매의 누설이 발생하면, 압축기의 체적효율이 감소하고, 압축된 냉매가 압축기 내에서 재팽창함에 따라 냉매의 압축기 토출온도가 상승하고 단열효율이 감소하게 된다. 따라서 스크류 압축기의 성능향상을 위해서는 이 간극을 최소화하여, 압축기 내부에서의 냉매누설을 최소화하여야 한다. 스크류 압축기 내부의 냉매 누설 경로를 Fig. 3과 Fig. 4 에 도시하였으며, 다음과 같이 분류된다.

2.2.1 로터와 케이싱 사이 (rotor tip clearance)

Fig. 3 의 1로 표시한 바와 같이 로터와 케이싱 사이의 간극을 통하여 인접한 갭합체적으로의 누설이 일어난다. 압축기 회전시

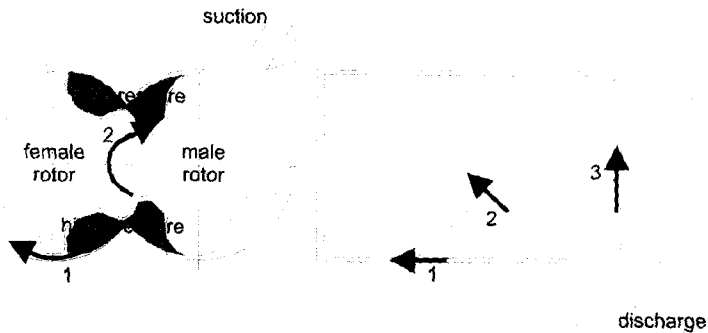


Fig. 3 Simplistic view of leakage paths

(1: rotor tip clearance, 2: interlobe clearance, 3: rotor discharge end face clearance).

원심력에 의하여 냉매보다 밀도가 훨씬 큰 윤활유가 케이싱쪽으로 밀려나므로, 이 간극은 윤활유에 의하여 밀봉되어, 이 간극을 통한 냉매의 누설은 거의 없으며, 윤활유만의 유동이 형성된다. 통상적으로 이 간극의 크기에 의하여 오일 순환량이 결정된다.

2.2.2 암수로터 사이(interlobe clearance)

암수로터 사이의 간극을 통하여 흡입구로 연결되어 저압으로 유지되는 갇힘체적과 압축과정 중에 있는 갇힘체적 사이에 누설경로가 발생한다. 이 사이를 통하여 냉매와 윤활유의 누설이 발생한다.

2.2.3 로터와 토출구축 끝면 사이 (rotor discharge end face clearance)

로터와 케이싱의 토출구축 끝면 사이의 간극을 통하여 냉매가 누설되는데, 토출직전의 고압냉매가 흡입압력으로 유지되는 갇힘체적으로 누설되면서 팽창하므로, 체적효율과 단열효율의 감소에 큰 영향을 미친다. 한편 흡입구축 끝면에서는 모든 갇힘체적이 흡입압력으로 유지되므로, 냉매의 누설이 일어나지 않는다.

2.2.4 Blow hole

로터 치형의 기하학적 형상으로 인하여 형성되며, 케이싱의 cusp선과 두 로터의 접촉점으로 둘러싸인 삼각형 모양을 가진다. Fig. 4에 blow hole이 존재하는 것을 대칭치형을 기준으로 하여, 2차원 그림으로 개략적으로 도시하였으나, 실제의 경우 이 blow hole은 3차원 형상을 가진다.⁽⁴⁾ Blow hole을 통한 누설은 인접한 갇힘체적사이에서 발생하며, 암수로터 사이 간극이나 로터와 토출구축 끝면 사이 간극을 통한 누설에 비하여 체적효율에 미치는 영향은 작으나, 단열효율에는 큰 영향을 미친다.

이상에서 정리한 바와 같이 스크류 압축기에는 4가지의 누설경로가 존재하는데, 이 간극들을

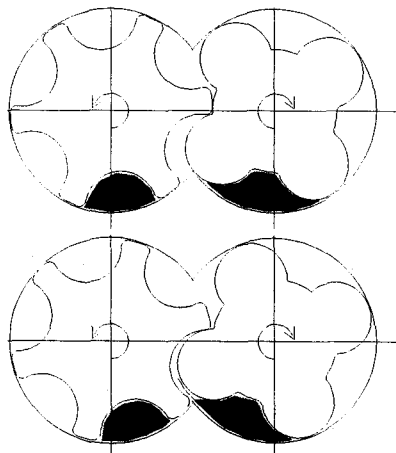


Fig. 4 Leakage through blow hole.

통한 냉매의 누설은 간극면적과 인접한 갇힘체적 사이의 압력차에 의하여 결정되므로, 압축기가 소형화되고 설계 압력비가 커질수록 간극의 영향이 중요해진다.

100kW급 냉동기에 사용되는 스크류 압축기가 3500rpm 정도로 회전할 때, 스크류 압축기가 정상적인 성능 (체적효율 80% 이상, 설계 압축비에서 단열효율 60% 이상)을 가지기 위해서는 이 간극을 100 μ m 이하로 유지하여야 하는 것으로 알려져 있으므로, 스크류 압축기의 성능을 향상시키기 위해서는, 간극을 최소화할 수 있도록 스크류 형상을 설계하는 것도 중요하지만, 이에 못지 않게, 정밀가공 및 조립 기술이 매우 중요하다.⁽⁵⁻⁷⁾

2.3 스크류 압축기의 설계 인자

스크류 압축기의 성능은 스크류 로터의 형상, 흡입구 및 토출구 형상, 스크류 회전수, 로터 지지기구, 오일 분사 기구, 부하조절 기구 등 여러가지에 의존하는데, 본 논문에서는 그 중 설계기준 운전조건에서의 압축기 성능에 영향을 미치는 인자들 중 대표적인 것들에 대하여 정리하였다.

2.3.1 대칭 치형과 비대칭 치형

오일분사식 압축기의 경우, 2.2절에 구분한 누설 경로 중 로터와 케이싱 사이, 암수 로터 사이, 로터와 토출구축 끝면 사이는 오일에 의하여 어느 정도 밀봉이 가능하지만, blow hole은 단면적이

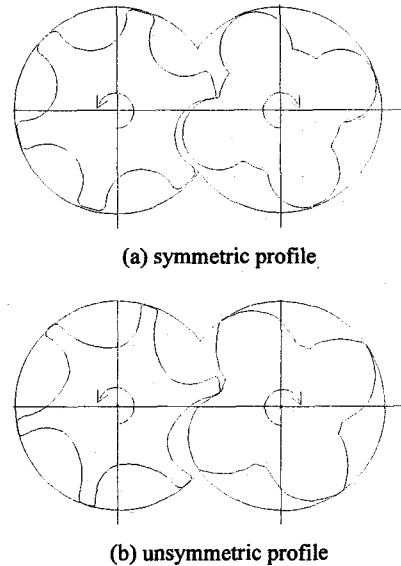


Fig. 5 Reduction in blow hole area by unsymmetric profiles.

삼각형 형태를 가지고 면적이 수 mm²에 이르므로, 오일에 의한 밀봉이 불가능하다. 따라서 오일분사식 압축기에서는 blow hole 이 주요 누설 경로가 되며, 이 blow hole의 크기가 압축기의 성능을 결정하는 주요 인자가 된다. Fig. 3과 4에 나타낸 대칭 치형 (로브(lobe)의 중심을 기준으로 하여 좌우의 모양이 대칭)의 경우, blow hole의 생성은 불가피하며, 이를 개선한 것이 비대칭 치형이다. 비대칭 치형은 blow hole의 면적을 줄이기 위하여, Fig. 5에 나타낸 바와 같이 로브가 cusp(암수로터의 케이싱이 만나는 꼭지점) 쪽으로 기울어진 형태를 가진 치형이다. 이 비대칭 치형은 1970년대 후반에 개발되었으며, 이를 통해 blow hole의 면적을 1/10로 줄일 수 있었고, 이후 스크류 압축기의 주류를 이루게 되었다.

비대칭 치형은 원호로만 구성된 대칭 치형에 비하여, 원호, epi-cycloid, epi-trochoid 등 여러가지 선요소에 의하여 이루어지므로 다양한 형태의 치형이 가능하다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 치형은 1980년대 후반에 개발된 SRM사의 SRM-D치형과 Hitachi사의 SUPER치형 등이 있다.

2.3.2 로터의 로브 수(Rotor lobe numbers)

Fig. 5에 나타낸 치형은 수로터와 암로터의 로브 수가 4+6인 치형인데, 이론적으로 로브의 수는 무한한 조합이 가능하지만, 일반적으로 4+5, 4+6, 5+6, 5+7 등의 조합이 많이 적용된다.

로브의 수를 결정하는 데 있어, 주로 고려되는 것은 로터 단면적에 대한 흡입 면적의 비, internal sealing length, 로터의 강성(stiffness) 등이다. 로브의 수가 증가할수록 로터 단면적에 대한 흡입 면적이 감소하며, internal sealing length가 증가하므로 압축기의 흡입용량이 감소하며, 누설이 증가하여 효율도 감소한다. 반면 로브 수가 감소하면 단위체적의 기기당 흡입용량이 증가하고, 누설도 감소하지만, 로터의 이뿌리 지름이 감소하여, 압축기 내 가스 압력에 의한 반경방향 힘을 로터가 견디지 못하게 될 수 있다. 따라서 적은 로브 수의 압축기는 압력비가 작은 경우에 적용되어 높은 효율을 얻을 수 있으며, 고압축비의 경우에는 로브 수가 많은 것이 적용되지만 효율은 상대적으로 낮아진다.

한편 통상적으로 암로터 로브 수가 수로터 로브 수보다 많은 것은, 암수로터의 이끝원 지름이 서로 비슷하도록 하기 위함이며, 이렇게 하는 것이 여러면에서 압축기 제작에 유리하기 때문이다.

2.3.3 로터의 길이와 지름의 비

스크류 압축기 로터의 축방향 단면 형상은 어디에서나 동일하므로, 로터의 1 회전당 흡입체적은 로터의 길이에 단순 비례한다. 따라서 로터의 길이가 긴 것이 흡입체적을 증가시키는 데

유리하다. 그러나 로터의 지름이 일정하고 로터의 길이만 길어지면, 로터의 단면적에 비례하는 흡입구를 통한 유체의 유속이 증가하므로, 흡입구에서의 압력손실이 증가하게 된다. 또한 더욱 중요한 것은, 로터의 길이가 길어짐에 따라 로터 지지 베어링 사이의 거리가 멀어지므로, 로터가 내부 유체 압력에 의하여 받는 휨 모멘트(bending moment)가 증가하여, 로터의 변형(deflection)이 증가하는 것이다. 로터의 변형이 증가하면, 암수로터 간 간극이 증가하여, 누설이 증가하며, 경우에 따라서는 로터의 회전이 불가능해지거나, 로터가 손상될 수 있다.

로터 길이와 지름의 비는 고압축비의 압축기에서 1.0~1.7, 압축비가 낮은 경우에는 2.5까지도 적용된다.

2.3.4 Wrap angle

Wrap angle은 스크류 로터가 나선모양으로 꼬여진 정도를 나타내는 값으로, 로터 치형이 로터 한쪽 끝에서부터 다른 끝까지 움직일 때, 회전한 각도를 의미한다. Wrap angle의 크기는 스크류 로터의 치함에 의한 갭체적의 감소, 즉 압축과정이 시작되는 시점을 결정하는 설계 인자이다. Wrap angle이 작은 것은 Fig. 2에서 축방향에 대한 로터 이끝선의 각도가 작은 것으로 나타나는데, wrap angle 작으면, 갭체적이 토출구쪽 벽면과 만나더라도, 흡입구쪽에서 치합이 이루어지지 않아, 흡입과정이 끝난 후 한동안 압축이 일어나지 않게 되어, 압축기 성능이 저하한다. 반대로 wrap angle이 아주 크면, 갭체적이 토출구쪽 벽면과 만나기 전에, 흡입구쪽에서 치합이 이루어지게 되므로, 최대 흡입유량이 감소하게 된다. 또한 wrap angle이 커지면, Fig. 2(d)로부터 예상할 수 있는 바와 같이 반경방향 토출구 면적이 감소하여, 토출구에서의 압력손실이 증가하며, 로터와 케이싱 사이의 sealing length가 증가하여 누설이 증가한다.

수로터의 wrap angle은 통상적으로 250~350°의 값이 적용된다.

2.3.5 압축기 회전속도

압축기의 성능 향상은 흡입유량에 대한 내부 누설량의 비율을 얼마나 줄일 수 있는가와 밀접한 관련이 있다. 내부 누설량은 밀폐체적간의 압력차와 누설면적과 관계가 있으므로, 압축기의 회전수와는 큰 관계가 없다. 반면 회전수가 증가할수록 흡입유량이 증가하므로, 스크류 압축기의 성능을 어느 한도 이상으로 유지하기 위한 압축기의 최소 회전수가 존재한다. 한편 회전수가 증가하면, 로터 이끝 속도가 증가하고, 로터와 케이싱 사이 오일의 전단력이 증가하므로, 회전수가 아주 커지면, 오히려 압축기 성능이 저하하게 된다. 따라서 압축기의 성능을

유지할 수 있는 적절한 로터 이빨 속도의 범위가 존재하는데, 통상적으로 50~100m/s의 범위이다.

3. 스크류 압축기 연구개발 동향

3.1 스크류 압축기 생산 업계 현황

1970년대 말 비대칭 치형의 개발로 스크류 압축기의 성능이 크게 향상되어 산업용 공기 압축기, 냉동기용 등 그 적용범위가 점차 넓어지고 있다. 현재 스크류 압축기를 생산하는 업체는 전세계적으로 40여개에 달하고 있는데, 대부분의 업체가 SRM사의 설계를 license 받아 생산하고 있다. SRM사는 직접 스크류 압축기를 생산하고 있지는 않지만, 스크류 압축기를 최초로 발명한 이후, 지속적인 연구개발을 통하여, 스크류 압축기에 관한 특허권의 대부분을 보유하고 있는 연구전문 기관이다. SRM사의 license를 받아 스크류 압축기를 생산하는 업체는 영국의 Howden Compressors Ltd., 스웨덴의 Stal Refrigeration 등의 유럽 14개 업체, Trane Company, Carrier Corporation 등 미국의 11개업체, 일본의 Hitachi Ltd., Kobe Steel Ltd., 한국의 Century Co. Ltd. 등 아시아 5개 업체이다. 이들 업체들은 생산 초기, 설계에 관한 것을 전적으로 SRM사에 의존하였으나, 스크류 압축기의 시장규모가 커짐에 따라 자체적인 설계 및 생산기술을 개발 확보해 나가고 있다. 1980년대 중반 개발된 Hitachi의 SUPER치형을 그 예로 들 수 있으며, 그 외에도 Trane, Ingersoll-Rand 등의 회사가 자체적인 설계 소프트웨어의 개발에 연구를 집중하고 있다.

3.2 스크류 압축기 연구 동향

스크류 압축기가 여타 다른 형식의 압축기에 비하여 고성능을 유지하기 위해서는 2절에서 언급한 바와 같이 간극을 통한 내부 누설을 감소시켜야 한다. 이러한 누설량은 기본적인 스크류 로터의 형상뿐만 아니라, 로터와 케이싱 등 압축과 관련된 모든 부품의 가공여유(tolerance)와 조립여유(clearance) 등과 관련이 있는데, 이러한 가공여유와 조립여유에는 한계가 존재하므로, 스크류 압축기의 크기가 작아질수록 흡입량에 대한 누설량의 바가 커지게 된다.⁶⁾ 따라서 스크류 압축기는 소용량에는 적합하지 않은데, 현재 가장 작은 용량의 스크류 압축기는 10kW 정도의 규모이며, 일반적으로는 20kW 이상이다. 스크류 압축기는 주로 중대형 압축기용으로 생산되고 있으며, 이에 따라 설계 및 성능시험 등 연구 개발에 큰 비용이 소요되어, 스크류 압축기와 관련된 연구는 주로 생산 업체

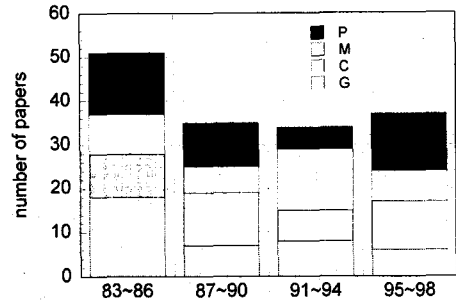


Fig. 6 Number of published papers on screw compressors. Classification

- P : Rotor Profile design, modeling on leakage flow
- M : Manufacturing clearance, bearing clearance, thermal expansion, rotor deflection
- C : Load control, heat transfer control, noise control
- G : General introduction, application

및 관련 연구기관에 국한되어져 왔다. 업체의 연구개발 내용은 주로 기업비밀로 분류되고, 외부에 공개하는 예가 많지 않으며, 공개하는 경우에도 구체적인 내용은 생략되는 경우가 많다.

스크류 압축기와 관련한 업체의 연구 결과는 주로 2년마다 미국 Purdue에서 열리는 International Compressor Engineering Conference에 매년 10~20편 정도가 발표되고 있으며, 그 외에 ASME Trans., ASHRAE, IJR, JSME 등의 논문지에 발표되고 있다.

전술한 학회 및 논문지에 발표된 논문들 중 1983년부터 1998년 사이에 발표된 스크류 압축기 관련 논문은 모두 157편으로, 연평균 10편 정도로 많은 편이 아닌데, 이는 앞서 언급한 바와 같이 대부분의 연구가 업계 주도로 이루어져 왔기 때문인 것으로 추측된다. 한편 157편의 논문을 크게 로터 치형(P), 생산가공(M), 제어(C), 일반(G)의 4가지 주제별로 분류하여 Fig. 6에 나타내었다. 발표된 논문만을 가지고, 연구동향을 예측하기에는 무리가 있으나, 개략적으로 4가지 주제에 대한 연구가 균형적으로 이루어지고 있는 것을 알 수 있다. 이 중 특이한 것은 91~94년 사이에 생산가공과 관련한 논문이 급격히 증가한 것인데, 이는 그 이전까지 스크류 치형과 관련한 연구를 통해 누설을 감소시키려는 시도가 어느 정도 효과를 거둬에 따라, 가공 및 조립 오차, 열팽창, 압력변형 등의 여러가지 2차적인 요소들이 압축기 성능에 미치는 영향을 파악하려는 노력이 진행된 것으로 이해된다. 실질적으로 전술한 모든 것을 포함한 스크류 압축기 운전시의 간극이 100 μ m 이하가 되어야 함이 이 기간에 발표된 논문에서 지적되었다.⁶⁾

한편 로터 치형에 관한 연구가 91~94년 사이에 최소가 되었다가, 최근들어 다시 증가함을 볼 수

스크류 압축기 성능진단 소프트웨어

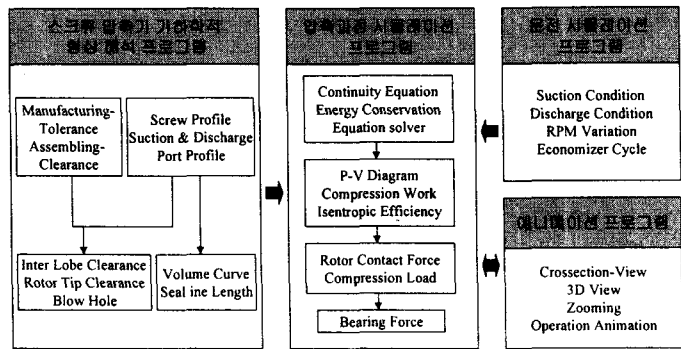


Fig. 7 Structure of the software for performance diagnosis of a screw compressor.

있는데, 이는 최근에 들어 대학에서의 관련 연구가 활발해지는 것에 기인한 것이다. 과거 생산업체의 연구와 구별되는 것은, 과거 로터 치형에 관련된 연구 논문이 포괄적이고 개략적인 내용을 다루고 있는 반면, 최근의 연구는 누설과정의 모델링, 냉매와 오일간의 열전달, 냉매 분사 등 매우 구체적이고 구체적인 주제를 다루고 있다는 것이다. 이러한 동향은 생산업체로부터 시작된 개발연구를 통해, 스크류 압축기의 성능 개선을 위한 장애요인이 구체적으로 도출되고, 이에 따라 연구거변이 확대될 수 있게 된 것으로 이해할 수 있다.

3.3 국내 연구 현황

국내에서는 유일하게 주식회사 센추리가 1990년대 초부터 SRM사의 license를 획득하여 연간 1,000여대의 스크류 압축기를 생산 국내 보급 및 국외 수출하고 있다. 이에 따라 관련 연구도 센추리를 중심으로 한 소규모 그룹에서 진행되어 왔으나, 광범위한 연구범위와 세계적인 연구개발 노력에 비추어 볼 때, 국내의 연구는 매우 미흡하다 할 수 있다. 센추리를 제외한 연구로는 1990년 한국과학기술연구원에서 진행한 스크류 로터 치형 설계와 관련한 연구⁽⁹⁾가 있었으나, 당시 스크류 압축기에 대한 국내 인식이 별무하였고, 이후 연구가 지속되지 않아, 연구결과가 사장되다시피 하였다. 당시의 연구는 국내 스크류 압축기 생산업체가 없던 상황에서 이루어진 관계로, 스크류 압축기의 개발 및 성능시험 단계로 연결되지는 못했다.

한편 스크류 압축기는 고효율, 저진동, 유지관리 용이 등 여러가지 장점으로 인해, 다른 형식의

압축기를 급속히 대체해 나가고 있으며, 정밀가공 기술의 발전과 함께 소형 압축기분야로도 적용범위가 확대될 것으로 기대되고 있다. 이에 따라 스크류 압축기와 관련한 국내연구도 활성화될 것으로 예상되며, 이러한 연구의 일환으로 한국과학기술연구원과 센추리가 공동으로 스크류 압축기의 성능향상을 위한 연구를 진행하고 있다. 이 연구는 일차적으로 스크류 압축기의 성능시험과 압축과정 시뮬레이션 프로그램의 개발을 목표로 하며, 이를 이용하여, 간극을 통한 냉매의 누설이 압축기의 성능에 미치는 영향을 규명하고, 스크류 압축기가 설계시의도한 성능을 발휘할 수 있도록, 스크류 압축기 각 부품의 가공여유와 조립여유를 제공함으로써, 스크류 압축기의 성능향상에 기여하도록 하는 것이다. Fig. 7 에 이 연구 중의 일부로 개발을 목표로 하는 스크류 압축기 성능진단 소프트웨어의 구성도를 나타내었다.

4. 맺음말

스크류 압축기에서는 암수로터와 케이싱으로 이루어지는 갯힘체적이, 로터의 회전에 의하여, 증감함에 따라 흡입, 압축, 배출과정이 일어나는데 로터의 원활한 회전을 위하여, 로터와 로터 사이, 로터와 케이싱 사이에 간극이 존재하므로, 이 간극을 통하여 냉매의 누설이 발생한다.

스크류 압축기의 성능향상을 위해서는 간극을 최소화하여 냉매의 누설을 최소화하여야 하는데, 로터의 기본적인 형상에 의한 누설면적을 포함하여 가공오차와 조립오차 및 로터의 변형을 포함한 누설경로의 수력직경이 $100\mu\text{m}$ 이하가 되어야만 적절한 성능을 발휘할 수 있는 것으로

보고되고 있다. 이러한 작은 허용 간극을 고려할 때, 스크류 압축기의 성능은 스크류의 설계 형상뿐만이 아니라, 가공 및 조립 정밀도에 크게 좌우됨을 알 수 있다. 더욱이 스크류 로터 등의 부품들은 매우 복잡한 3차원 형상을 가지므로 3차원 자유곡면의 정밀 가공기술이 뒷받침되어야 스크류 압축기의 성능향상이 가능하다. 따라서 각 부품의 가공오차 및 조립오차를 측정할 수 있는 3차원 정밀측정 기술의 개발과 함께, 가공오차 및 조립오차가 압축기 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 규명함으로써, 적절한 가공여유 및 조립여유를 설정하는 가공전략을 개발하여야 하며, 추후 축적된 기술을 바탕으로 독자적인 스크류 형상 개발로 발전시켜 나가야 할 것이다.

참고문헌(REFERENCES)

- (1) 에너지 경제연구원, 1996, *에너지 총조사 보고서*, 통산산업부.
- (2) O'Neill, P. A., 1993, *Industrial Compressors : Theory and Equipment*, Butterworth-Heinemann Ltd.
- (3) 한국냉동공조기술협회, 1996, *냉동공조기술 상급*
- (4) Singh, P. J. and Bowman, J. L., 1990, "Calculation of Blow-Hole Area For Screw Compressors", *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp. 938~948.
- (5) Shaw, D. N., 1990, "Twin Screws of The Future for Air Conditioning and Refrigeration", *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp. 1~7.
- (6) Edstrom, S. E., 1992, "A Modern Way to Good Screw Rotors", *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp. 421~430.
- (7) Salus, J., 1996, "Development of a Comprehensive Thermodynamic Modeling System for Refrigerant Screw Compressors", *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp. 151~156.
- (8) Kumar, K. B. and Bush, J. W., 1996, "Simplified Compressor Performance Scaling", *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference at Purdue*, pp. 163~168.
- (9) 전완주, 이성철 외 4인, 1990, *Screw Rotor의 최적 설계 기술 개발에 관한 연구*, 한국과학기술연구원, UCN673-4071-2.