

스크롤 압축기의 특성 및 기술개발 동향



박 영 도

(LG전자(주) ROC OBU)

- '75 - '81 부산대학교 재료공학과(학사)
- '81 - '83 아주대학교 대학원 기계공학과(석사)
- '89 - '95 부산대학교 대학원 무기재료공학과(박사)
- '86 - 현재 LG전자(창원) 근무



김 태 종

(부산대학교 기계공학부)

- '77 - '81 부산대학교 기계공학과(학사)
- '83 - '85 서울대학교 대학원 기계설계공학과(석사)
- '84 - '91 LG전자(주) 리빙시스템 연구소(창원)
- '91 - '95 서울대학교 대학원 기계설계공학과(박사)
- '97 - 현재 부산대학교 기계공학부 전임강사



이 정 환

(KIMM 재료공정연구부)

- '76 - '80 한양대학교 정밀기계공학과(학사)
- '80 - '82 연세대학교 대학원 기계공학과(석사)
- '91 - '95 홍익대학교 대학원 기계공학과(박사)
- '82 - 현재 한국기계연구원 소성가공연구팀

1. 머리말

산업의 발달로 인해 생활수준이 향상되고, 인간의 욕구 또한 생활의 질을 추구함에 따라 냉장, 냉동고 및 각종 공조시스템이 보편화되어 사용되고 있다. 1970년대의 에너지 파동 이후 자원 절약에 대한 관심이 높아졌고, 최근에는 지구환경 보존 차원에서 에너지 절약이 초유의 관심사로 떠오르고 있다. 하절기 전력부하의 피크치를 유발하여 전력수급의 문제를 야기시키는 냉동공조장치의 전력소비는 전체 전력소비의 약 20%를 차지하고 있다. 이 가운데 그림 1의 냉동공조시스템에서 소모되는 전기 에너지의 약 80~90%는 압축기에서 소비되므로 압축기의 고효율화는 냉동공조기기의 에너지 절약으로 직결된다.

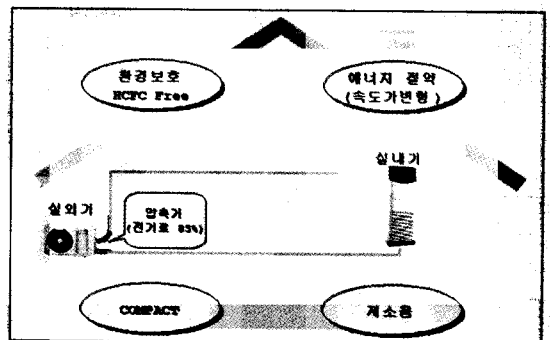


그림 1. 냉동공조시스템의 구성

국제적으로는 CFC물질의 오존층 파괴효과로 인해, HCFC 냉매가 1996년부터 규제가 시작되어 2004년 이후는 대폭적인 삭감이 시작되므로 미국과 일본의 선진업체는 대체냉매를 사용하는 냉동공조장치의 개발에 착수하였다. 특히 ARI (미국 냉동공조 협회), JRAI (일본 냉동공조 협

회)산하의 냉동공조, 냉매 및 윤활유 업체들은 공동으로 차기 냉매의 기초연구 및 개발방향 설정, 상품화를 '94년에 시작해서 '96년에 실용화하여 출시한 상황이다. 대체냉매 적용에서 연구의 주 관심 사항은 기존 냉매 대비하여 동등한 성능, 신뢰성 및 내구성 확보이다.

또한, 소비자들의 냉동공조장치에 대한 쾌적성 요구로 인해 저소음의 냉동공조기, 즉 저소음 저진동의 압축기 개발이 불가피하게 되었다. 뿐만 아니라, 압축기 속도 조절을 통한 에너지 효율의 극대화, 낮은 외기 온도에서 보조 열원기기의 용량 감소와 실내 환경의 쾌적성을 이룰 수 있는 인버터형 압축기의 개발도 요구되고 있는 실정이다.

현재 많이 사용되고 있는 왕복동형 압축기(reciprocating compressor)는 압축비는 높지만 왕복운동이라는 기본 작동원리와 기구상의 문제로 인해 효율향상이 거의 한계에 있으며, 획기적인 성능개선은 점차 어려워지고 있다. 또한 소음 및 진동면에서도 단점을 가지고 있다. 압축기 고 효율화를 위해 새로운 형태로 개발된 로터리 압축기(rotary compressor), 트윈 로터리 압축기

(twin-rotary compressor) 등의 회전형 압축기는 왕복동형 압축기에 비해 효율이 높은 편이지만, 소음, 진동은 큰 것으로 알려져 있다. 하지만, 스크롤 압축기는 기존의 왕복동형 압축기 보다 약 30% 정도 효율이 높고 소음, 진동의 성능도 양호하여 최근 널리 적용되고 있다.

2. 스크롤 압축기의 특성

스크롤 압축기(scroll mechanism compressor)는 프랑스의 Leon Creux에 의해 1905년 미국에 특허가 등록되었으나, 초정밀 가공기술 및 누설방지기술의 적용이 가능해진 1980년대에 들어 실용화가 이루어졌다. 1974년 미국의 ADL사가 선회 스크롤의 배면에 공기압을 가하여 축방향 하중을 지지하는 '스크롤형 헬름압축기를 개발하였다. 1981년 일본의 산덴사가 자동차 에어컨용 압축기를 실용화하였다. 1983년 히타치사는 패키지 에어컨용 스크롤 압축기를 상용화하였으며, 1987년 운전범위가 30~120Hz인 인버터형을 개발하였다. 일본의 마쯔시다사에서는 1마력급 수평형 구조를 개발하여 룸 에어컨용에 사용하고 있다.

스크롤 압축기는 타 압축기에 비해 구성 부품수가 적고, 크기가 작으며 중량도 가볍기 때문에 고효율, 저진동 및 저소음의 장점을 지니고 있다. 동일용량의 왕복동형 압축기에 비해 크기는 약 40% 작으며, 중량은 15~20%정도 가볍다. 흡입 및 토출밸브가 없으므로 압력손실 및 간극체적에 의한 재팽창손실이 없다. 2~3개의 압축실을 통해 연속적인 압축이 이루어지므로 이웃하는 압축실 사이의 압력차가 흡입 및 토출기체의 압력차보다 작으므로 누설손실이 작다. 압축실이 복수의 대칭형으로 구성되고 압축과정도 동시에 발생되므로 왕복동형 압축기에 비해 토크 변동이 1/10정도로 작고 소음도 약 8~10db 정도 낮다. 회전형 압축기에 비해서도 압축기의 크기가 작아 냉방기의 부피를 줄일 수 있으며 냉매가스의 누설이 적고 토크하중 변동이 적으므로 인버터화에 유리하다.

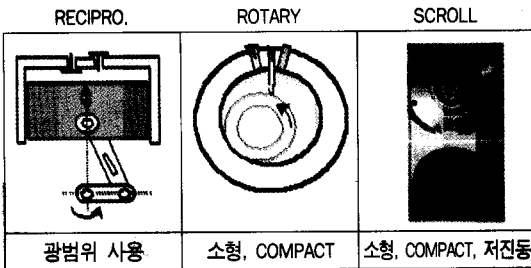


그림 2. 냉동공조용 압축기의 형상 및 특성

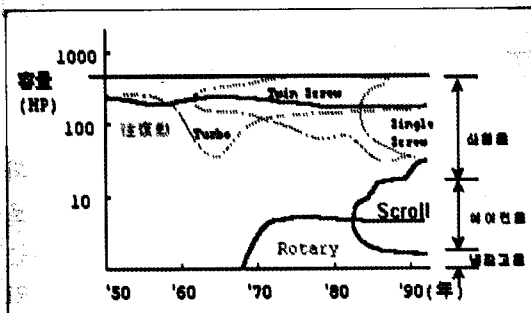


그림 3. 압축기의 용도 및 용량별 개발 추세

3. 스크롤 압축기의 구조 및 원리

스크롤 압축기는 인벌류트 곡선으로 구성되는 스크롤 형상의 부재를 상대운동시켜 냉매기체의 압축을 행하는 회전형 압축기로서 구조는 그림 4와 같다. 고정 스크롤, 선회 스크롤, 올댐 링, 크랭크축, 프레임, 모터 등 6개의 주요 부품으로 구성되며, 선회 스크롤과 고정스크롤이 180°의 위상차를 가지고 그림 5와 같이 압축과정을 수행한다. 고정 스크롤의 기초원 중심과 선회 스크롤의 기초원 중심 사이의 간격이 선회 스크롤의 선회반경이 되고, 선회 스크롤의 하단에는 자전을 방지하는 올댐 링이 있다.

이 압축기의 구조는 압축기 밀폐용기 내부에 냉매기체의 토출압이 작용하는 고압챔버와 흡입압력이 작용하는 저압챔버의 2가지 형태로 나뉘어진다. 고압챔버의 경우, 토출된 냉매기체가 챔버 내부를 거쳐 냉동사이클의 응축기로 들어가기 때문에 챔버가 오일 분리기로서 작용하여 냉매기체에 포함된 냉동기유를 분리한다. 저압챔버의 경우, 압축기의 토출기체가 냉동사이클로 바로 토출되어 냉매기체에 용해된 냉동기유가 사

이클의 운전효율을 저하시키기 때문에 흡입과정에서 냉매기체에 냉동기유가 접촉되지 않는 구조로 설계되어야 한다. 또, 압축과정 중 스크롤 내부에 냉동기유가 소량 존재하여 스크롤면에서 마찰, 마멸 등에 대한 윤활 작용 및 누설기체에 대한 밀봉작용이 미약하므로 스크롤면이 정밀하게 가공되어야 한다.

이 압축기의 기구부는 선회 스크롤의 배면에 작용하는 압력의 크기(흡입압, 토출압 혹은 중간압)에 의해 그 구조가 달라진다. 이 구조는 스크롤 벽면의 밀봉기구와 관련되어 축방향 및 반경방향의 컴플라이언스(compliance)를 제어한다. 즉, 저압 챔버방식은 스러스트 베어링을 이용하여 축방향의 하중을 지지하고, 고정 스크롤의 뒷면에 작용하는 배압으로 축방향의 컴플라이언스를 한정한다. 고압챔버방식은 토출압력 혹은 압축실의 중간압력을 이용하여 축방향의 하중을 지지함과 동시에 컴플라이언스를 제어하는 것이 대표적이다.

압축실내 냉매기체의 누설은 스크롤의 축방향 간극(tip clearance)을 통해 발생되는 반경방향의 누설(tip leakage), 반경 방향 간극(flank clearance)을 통해 발생되는 접선방향의 누설

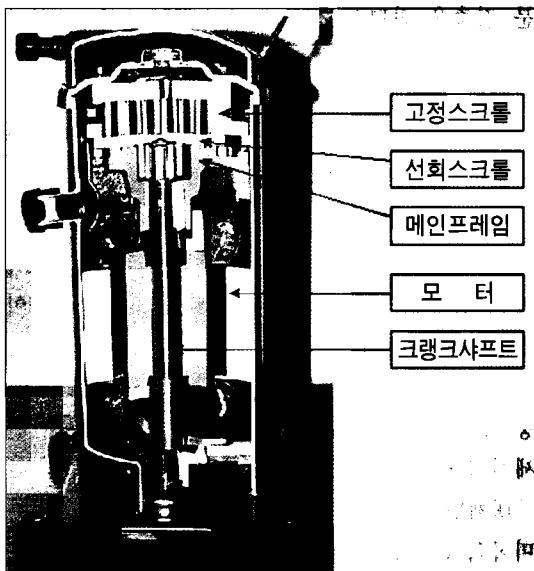


그림 4. 스크롤 압축기의 구조

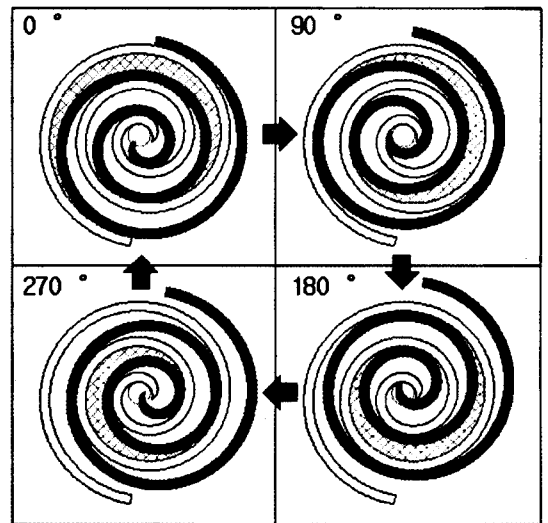


그림 5. 스크롤 압축기의 압축과정

(flank leakage)로 구분된다. 축방향의 밀봉기구는 선회 스크롤 벽면의 선단에 파여진 그루브(groove)를 만들어 밀봉재를 삽입하는 끝단 밀봉(tip seal) 방법, 고정 스크롤의 뒷면에 배압을 작용시키는 방법 등이 있다. 또, 스크롤 벽면의 반경방향 밀봉기구로서 고정반경 및 가변반경의 크랭크 기구가 이용되고 있다. 고정반경의 크랭크 기구는 스크롤 벽면의 반경방향 간극의 허용된 공차이내의 정밀가공과 조립일치의 조합에 의해 그 구성이 가능하다. 가변반경의 크랭크 기구는 선회 스크롤의 원심력을 이용하여 선회 스크롤 벽면을 고정 스크롤의 벽면으로 힘을 가하여 밀봉을 실현하는 구조이다.

4. 기술 개발 동향

최근, LG전자, 경원세기 등에서 스크롤 압축기의 실용화에 성공하였으며 특히, LG전자에서는 정속 운전 스크롤 압축기의 개발을 완료하여 2.5HP와 3HP 모델을 상품화하여 자사의 에어컨 및 국내 관련업체에도 공급하고 있다.

국외의 스크롤 압축기 관련 기술개발 현황은 미국의 Copeland, Bristol 등과 일본의 Daikin, Mitsubishi, Toshiba, Hitachi, Sanyo, Matsushita 등에서 양산 및 개발하고 있다. 일본의 히타치사 기계연구소에서는 중간압 이용 지지구조의 스크롤 압축기에 대해 일련의 연구를 수행하여 압축기의 압축과정에 대한 기하학적, 열역학적 모델을 제시하고, 각 작동공간 사이의 내부누설을 해석하였다. 해석 결과, 축방향의 간극을 증가시키면 압축과정의 후반부에 큰 압력상승이 발생되며, 스크롤의 중앙부에서는 반경방향의 간극을 통한 원주방향의 누설이, 바깥영역에서는 축방향 간극을 통한 반경방향의 누설이 지배적이라는 결론을 제시하였다. 또한, 압축실 내의 압력을 측정하여 선회 스크롤에 작용하는 힘과 모멘트를 계산하여 토출개시 직후에 스크롤 중심부의 벽면 사이 토출유로가 토출구멍의 면적에 비해 20%의

비율로서 비교적 작아 과압축 현상이 발생된다고 하였다. 선회 스크롤에 작용하는 힘은 내부누설이 무시된 이론값에 비해 수 %의 오차로서 잘 일치하지만, 이 힘이 최대로 되는 선회각도는 이론적인 토출 개시각도의 위치에 대해 수십도 지연된 위치가 된다고 하였다. 측정된 압력 및 온도값을 이용하여 고정 및 선회 스크롤 부재의 열변형 해석을 한 바, 반경방향 접촉점의 최대변위는 20 μ m 수준이지만, 앞서의 결과에 의해 밀봉효과는 크게 감소하지 않는 것으로 가정하여 축방향의 경우에는 형상을 단계적으로 변화시켜 축방향의 간극을 조정하여 성능을 향상하였다.

일본 도시바의 연구소에서는 압축기의 성능을 축방향의 간극은 5~12 μ m, 반경방향은 8~40 μ m으로 변화시키면서 측정하여 축방향의 간극은 5 μ m, 반경방향은 18 μ m까지는 최고의 효율을 유지하고 이 이상 간극이 커지면 효율은 저하되고, 축방향의 간극은 반경방향 간극에 비해 성능에 많은 영향을 미치는 것을 확인하였다.

일본 미쯔비시 연구소에서는 고정반경 크랭크 기구의 크랭크 반경을 해석하여 스크롤 벽면 사이의 간극은 실제 가공정도의 조합에 의해 구해지는 것으로 가정하고, 20 μ m의 간극에서 서로 부분 접촉을 하면서 동시에 다소간의 누설과 마찰손실을 야기시킨다는 것을 확인하였다. 또한, 반경방향 힘들은 크랭크 반경에 의해 결정되므로 스크롤 벽면 사이의 누설손실 및 마찰손실을 평가하여 최적의 크랭크 반경을 구하였다.

1987년 미국 최초로 스크롤 압축기를 생산한 Copeland사는 "compliant(적응형)" 압축기로서 높은 명성을 얻어 왔으며, 1998년 누적 생산량이 천만대를 넘어섰다. 현재 오하이오주 시드니공장 및 미조리주 레바논공장을 가지고 있으며 최근, 중국, 태국 등 해외공장을 설립하여 기술력을 전 세계적으로 과시하고 있다.

대체냉매를 적용한 에어컨용 스크롤 압축기는 미국의 Carrier, Copeland, 일본의 松下, 日立, 三菱 등의 업체들이 '97~'98에 개발하여 소량

출시하고 있으며, 연구는 R410A, R407C용 특성을 중심으로 하고 있다. 에어컨용 대체냉매로는 미국, 일본은 단기적으로 R407C, 장기적으로 R410A를 스크롤 압축기에 적용하는 것을 계획하고 있으며, 유럽에서는 천연냉매(NH₃, CO₂ 등)를 검토하고 있으나 스크롤 압축기에 적용된 사례는 발표되지 않고 있다.

국내의 경우, 대체냉매를 사용하는 에어컨의 경우 로터리 압축기에 대한 연구가 진행중이며, 스크롤 압축기의 경우에 대한 적용 사례는 없다. 국내에서의 에어컨용 대체냉매 적용 연구는 기존 압축기(왕복동형, 로터리형)에 대해 연구개발이 진행되고 있는 상황이나, 스크롤 압축기의 경우 국내에서 양산을 시작한 지가 2년 이내이기 때문에 기존 냉매에 대해 성능, 신뢰성 확보의 기술개발에 주력하고 있고 대체냉매 적용 연구는 전무한 실정이다.

현재 국내 가전 및 자동차 업체에서 소형 스크롤 모델에 적용 가능한 주철 또는 Al-Si 소재 개발에 관심을 두고 있다. 현재의 기술 현황은 소형 스크롤에 주철 재료를 적용하는 경우 결합 발생의 억제, 가공 시간 단축이 필요하고, Al 재료의 경우 스크롤에 적합한 국산화 소재 제조 기술 및 가공 기술이 미흡하므로 개발이 필요하다. 대형 스크롤 압축기에서 대체냉매 적용시 기존의

소형 모델에 비해 강도가 1.5배 이상 요구되고 소형에 적용이 가능한 열간 정밀 단조의 적용이 어려운 점이 과제이다. 따라서 대체냉매용 대형 스크롤 모델에 적용될 수 있는 소재 및 생산 제조 공정과 관련하여 새로운 개념의 설계 엔지니어링 및 가공 기술, SI기술의 개발이 필요하다.

5. 향후 개발 과제 및 전망

앞으로의 전망으로 선진국의 경우 현재 6~10%의 시장 점유율을 차지하고 있는 공조기용 스크롤 압축기에서 2000년에는 20%수준으로 확대될 것으로 추정된다. 대체냉매용 대용량 스크롤의 경우 점유율 증가에 많은 비중을 차지할 것으로 예상할 수 있다. IMF 체제 및 치열해지는 국제경쟁, 선진국의 기술이전 회피 등을 감안할 때 기술 도입시 필요한 비용은 현재의 2배 이상으로 예상된다. 따라서 기술 도입시 경제성 자체도 없을 뿐만 아니라 후속기술 및 제품개발에 지속적인 영향을 미치므로 경제성은 더욱 떨어질 것으로 사료된다. 기술적 개발 목표는 대용량 스크롤 압축기에 적합한 설계 엔지니어링 및 SI 기술 확보, 스크롤 압축기의 용량 변화에 따른 최적 성능 및 원소재 제조기술, 성형기술, 제조원가 절감을 위한 용량별 최적 생산 공정 기

| 항 목 | | 평 가 지 표 | | | | | |
|--------------------------|--------|---------|------|---------------|----------|------|------|
| | | 설계/SI | 요소기술 | 소재기술 | Comp. 개발 | 제품출시 | 평가지수 |
| 가변속 2~10HP Scroll | 미국 | ◎ | ◎ | ○ (주물) | ○ | × | 80 |
| | 일본 | ○ | ◎ | ◎ (주물, AL) | ◎ | ◎ | 90 |
| | 국내(LG) | ○ | ○ | △ (주물) | ○ | × | 60 |
| 대체냉매 2~10HP Scroll | 미국 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ◎ | 90 |
| | 일본 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ◎ | 90 |
| | 유럽 | ◎ | ◎ | ◎ | - | ◎ | 80 |
| | 국내 | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | 65 |

| 기술우위점 | |
|-------|---|
| 미국 | Scroll형상 해석 및 설계기술 Scroll고속가공 기술 특허 출원 다수 |
| 일본 | 신뢰성 평가기술 (윤활System/가변속) 소재개발 및 평가기술 |
| 국내 | Scroll형상에 대한 기초기술 구축 Scroll가공/측정기술 |

그림 6. 스크롤 압축기의 기술력 비교

술, 대용량 모델의 특성 평가기술 확립, 고효율 저소음의 대형 스크롤 압축기 개발을 통한 에너지 효율의 극대화이다. 즉, 대체냉매용 스크롤 압축기 제조를 위한 소재, 가공 공정 및 제품 특성에 관한 설계 엔지니어링 기술 확립이다.

냉동공조시스템의 에너지 절감은 기존 제품의 성능 분석 및 개발 모델의 설정, 대체냉매에 적합한 소재선정 및 특성파악, 고강도 주철, 고규소 AI 합금소재의 특성분석, 가공성 평가 실험 및 고속 가공을 위한 공구의 최적 선정, 생산성을 고려한 가공 공정 설계, 대체냉매 및 대용량화를 위한 설계 엔지니어링 및 SI를 위한 설계 기준 확보, 신냉매 및 대형 모델을 위한 무절삭 가공 또는 정형 제조기술의 개발 등이다.

핵심요소 부품의 소재 및 생산 제조 공정 개발 및 SI 요소 기술의 확보는 효율 향상 및 소음, 진동 억제를 위한 요소 부품 설계, 가공 제작, 소재 분야에 대한 적정화 및 소재, 제조 공정 관련 D/B화, 고능률의 가공 공정 및 조건의 정립, 고속 가공을 위한 절삭유의 최적 선정 및 공급 방식의 설정, 제품 결합 제거기술의 개발, 내마모성 및 윤활 특성 향상을 위한 신 코팅 기술 개발 등이다.

시제품 제작 및 생산성 향상을 위한 최적 엔지니어링 및 SI 기술확보와 제품 특성의 향상 기술 개발은 3차원 스크롤 형상 제어 가공 기술의 정립, 가공 중 연속 모니터링 기법의 설정 및 가공 안정화 확립, 시제품 제조 및 특성 평가, 상태 감시 및 진단을 위한 멀티 센싱 기법 및 센서 선정의 최적화, 소재, 가공 및 성형, 후처리, 조립, 용접 등 제반 공정의 SI 요소기술 확보, 시제품 특성의 향상 기술 연구 등이다.

6. 맺음말

현재 선진국을 비롯한 국내의 일부 업체에서 생산하고 있는 공조기용 스크롤 압축기는 대부분 1마력을 중심으로 하는 소형이 대부분이다. 그

이유는 스크롤에 적용될 수 있는 소재, 제조공정 및 생산제조 기술 측면에서 모든 조건을 만족시키는 제조기술이 확립되지 않았기 때문이다. 따라서 선진국에서도 아직 3~10HP의 대용량 스크롤 모델의 개발은 시도되고 있지 않다. 그러므로, 2~10HP의 스크롤 압축기를 국산화할 수 있도록 설계 엔지니어링 및 생산 기술을 총체적이고 체계적으로 수행하면 고효율화에 따른 에너지 절약 및 수출증대에도 기여가 가능할 것으로 사료된다. 스크롤 압축기 분야의 적용 추세, 향후 개발 동향 및 기술개발의 경쟁력 강화 등을 고려할 때 압축기 분야에서 적용이 확대되고 있는 스크롤 분야, 특히 아직 선진국에서 적극적으로 시도되고 있지 않는 대용량 스크롤 제조 기술분야 및 기존의 소형 스크롤 개발과 병행하여 대체냉매 적용 기술을 개발하면 스크롤 압축기 분야에서 국제 경쟁력의 우위를 확보할 수 있다.

경제, 산업적 측면에서 국내 가전업계의 기술 수준 향상을 통해 제품의 고부가가치화, 국제경쟁력 강화로 수출증대, 수입대체에 크게 기여할 수 있고, 공조기뿐만 아니라 냉장고용 압축기, 자동차 에어컨용 압축기 등에 직접적인 파급 효과가 기대된다. 즉, 대용량 및 대체냉매용 스크롤 압축기 제조기술과 엔지니어링 기술을 냉장고용 압축기, 자동차용 압축기의 응용기술 개발에 활용이 가능하다. 차세대 냉매의 적용 및 대용량 모델의 고효율화 및 저소음화를 통해 에너지 절감, 환경문제의 해결, 수출증대 등 여러 측면에서 기술적, 경제적 상승효과를 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Scroll Type Compressor & Method for Manufacturing the Same, EP 0,724,077, A1
- [2] Scroll 압축기, 特開平 8-42468, 1996, 일본
- [3] Scroll Type Fluid Apparatus with Rotation Restaining Mechanism, US 5,154,592, 1992.