

# 일반 산업용 공기압축기의 원리와 구조

일반 산업의 공압기계, 자동화 공압라인, 도장, 계장용 공압라인에 널리 사용되고 있는 중소형 공기압축기의 대표 기종인 소형왕복동식공기압축기와 중형스크류식공기압축기의 원리와 구조에 대해 소개하고자 한다.

최 철 환

경원기계공업(주) 기술연구소(cwchoi99@ecentury.co.kr)

금번 특집호중 앞서 소개된 각종 냉매 또는 가스압축기의 소개를 통해 압축기의 종류 및 작동원리에 대한 내용은 이미 많이 소개되었을 것으로 생각합니다. 따라서 실제 공기압축기를 사용하고 선정하는데 필요한 기본원리와 구조에 대해 간략히 소개하고자 합니다.

공기의 운동이나 공기 압축을 의미하는 Pneumatic이라는 말은 고대 그리스어의 "Pneuma"에서 유래 되었으며 호흡, 바람을 의미했고, 철학에서는 정신(영)을 의미했다. 공기압축기는 전기모터나 내연기관(원동기) 또는 터어빈 등의 동력장치로부터 동력을 전달받아 공기에 압축일을 가함으로써 공기를 압축시켜 압력을 높여주는 기계로서 오늘날 산업전반에 걸쳐 널리 사용되고 있고 이중 중소형 공기압축기의 대표 기종인 소형왕복동식공기압축기와 중형스

크류식공기압축기의 원리와 구조에 대해 소개하고자 한다.

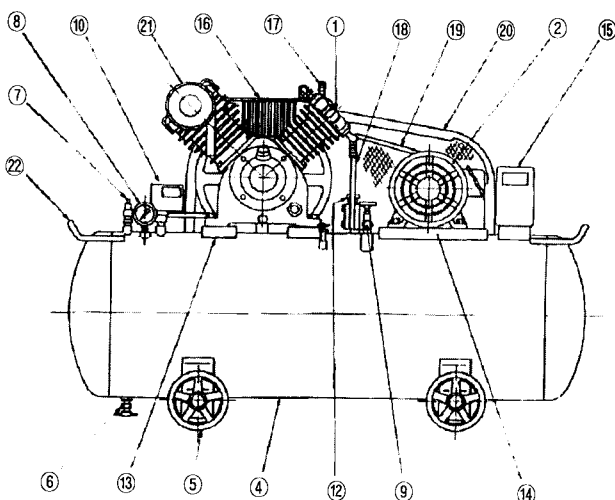
## 왕복동공기압축기의 구조

왕복동공기압축기의 일반 구조는 그림 1과 같이 압축공기를 저장하는 공기탱크 위에 압축기본체, 전동기, 동력을 전달하는 V-벨트, 압력계 및 운전을 제어하는 압력스위치가 부착되어진다. 소형왕복동압축기는 보통 직립 2기통의 것이 많이 사용되고 있다. 이형식은 다른 구조에 비해 가장 간단하고 실린더가 일선상에 나란히 있으므로 밸브시트 판과 실린더 헤드가 하나로 되어 가격이 싸진다. V형 또는 W형은 전동기출력이 2.2Kw 내지 3.7Kw 이상의 것에 많이 사용되어진다. 이것은 동용량의 직립 2기통에 비해 구성

부품의 크기를 작게 할 수 있어 콤팩트하고 또한 밸런스가 좋으므로 고속회전용으로도 적합하다.

## 왕복동공기압축기의 압축기본체 구조

왕복동공기압축기 압축기본체의 구조는 그림 2와 같이 크랭크실, 크랭크축, 실린더, 피스톤, 콘넥팅로드, 실린더카바 및 밸브 등으로 구성되어 진다. 크랭크실은 기체의 압력



| 번호 | 부품명칭        |
|----|-------------|
| 1  | 압축기 몸체      |
| 2  | 전동기         |
| 4  | 공기탱크        |
| 5  | 차륜          |
| 6  | 배수구         |
| 7  | 공기탱크 안전밸브   |
| 8  | 압력계         |
| 9  | 스톱밸브(공기취출구) |
| 10 | 압력 개폐기      |
| 12 | 밸브          |
| 13 | 베드(압축기몸체쪽)  |
| 14 | 베드(전동기쪽)    |
| 15 | 전자 개폐기      |
| 16 | 중간냉각기       |
| 17 | 중간안전밸브      |
| 18 | 접속관         |
| 19 | V 벨브        |
| 20 | 벨트커버        |
| 21 | 휴입필터        |
| 22 | 손잡이         |

[그림 1] 왕복동공기압축기의 전체 구조

에 견디고 또 기체의 누설을 방지하기 위해 기밀한 조적을 가진 고내력의 고급주철로 제작되고 있다. 피스톤의 왕복운동에 의한 진동력 및 토오크 변동을 최소로 하기 위해 기통배열은 V형인 경우는 실린더각을 90°, W형인 경우는 60°로 그리고 VV형인 경우는 45°로 하는 것이 일반적이다.

크랭크축에는 큰 반복 휨이나 비틀림응력이 생기므로 표면은 경도를 필요로 하며, 내부는 탄탄해야 한다. 따라서 탄소강의 단조품 또는 구상흑연주철을 주로 사용한다.

또 피스톤의 헤드부와 스커트부에서는 온도가 다르고 열에 의한 팽창의 비율도 다르기 때문에 헤드부의 경을 스커트부보다 작게 한 것이나 피스톤 보스부와 그 직각방향도 열팽창을 고려한 것도 있지만 일반적으로 소형압축기에는 별문제가 되지 않는다. 피스톤에는 실린더와의 틈새에 누설을 없애기 위해 둘레지 세개의 피스톤링을 설치하고 윤활유가 실린더 내에 올라오는 것을 막기 위해 오일링을 설치한다. 소형 압축기에서는 오일링을 사용하지 않고 스커트부에 오일스크래치부를 만들고 있다.

커넥팅 로드와 형상으로서서는 대단부 일체의 것과 대단부 분할형의 것이 있다. 대단부 일체의 것은 피스톤의 행정이 작은 압축기에 사용되며 구조가 간단해지는 특징이 있다. 피스톤의 행정이 어느 정도 커지면 대단부 분할형의 것이 사용되고 베어링용의 청동주철 또는 화이트메탈을 끼워 정밀한 리어머 볼트를 고정되어 헐거워짐을 엄격하게 방지하고 있다.

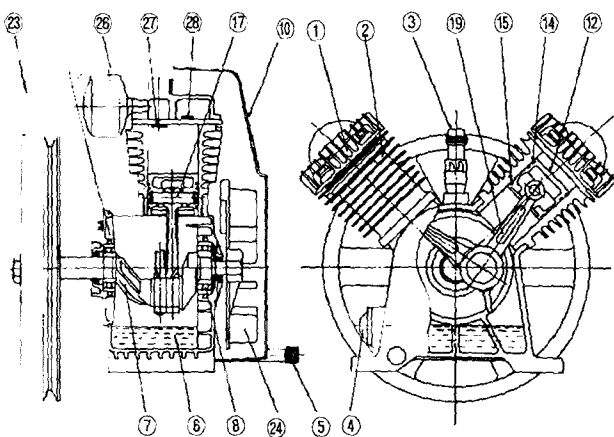
밸브부분은 흡입밸브, 토출밸브, 밸브늘림판, 밸브스프링, 밸브시이트 등으로 구성되며 압축기의 가장 중요한 부분이다. 압축기의 밸브는 압력차에 의해 자동적으로 개폐하는 기구로서 다음 사항을 고려해야 한다.

- 체적효율을 향상시키기 위해 밸브부의 압력손실을 적게 해야 한다.
- 효율 및 내구성을 증대시키기 위해 밸브의 개폐가 신속 경쾌하고 밸브의 충격이 작아야 한다.
- 밸브누설이 없고 틈새(Clearance)가 가능한 작아야 한다.
- 구조가 간단하고 고장이 적으며 또한 저렴해야 한다.

밸브의 종류로는 리이드 밸브(Reed Valve) 및 링 플레이트 밸브(Ring Plate Valve)가 주로 사용된다. 리이드 밸브는 구조가 매우 간단하고 신속, 경쾌하게 작동하기 때문에 현재 소형 압축기에 가장 많이 사용되고 있다. 이 밸브는 밸브자체의 탄성을 이용하여 개폐시키는 것이며 일반적으로 얇고 경량이며 견고한 것이 사용되고 개폐시의 충격을 작게 하고 있으며 재료로는 스테인레스강판이 주로 사용되고 있다.

링 플레이트 밸브는 가스통로면적이 커서 작은 양정(Lift)으로 적당한 가스유속을 유지할 수 있어 고속회전의 압축기 및 중형 압축기에 주로 사용되고 있다. 이 경우 고속도에서도 확실한 작동과 심한 작동에 대한 내구성을 필요로 하므로 리이드 밸브에 비해 두꺼운 재료를 사용하고 또한 밸브시이트에 대한 충격을 완화하고 동시에 신속하게 폐쇄를 행하기 위해 밸브 스프링을 사용하고 있다.

밸브 스프링으로서는 원추 코일 스프링이나 볼류우트 스프링이 우수하나 제작상의 어려움으로 보통 코일 스프링이 흔히 사용되고 있다. 그림 3은 실린더 상부 단면의 한 예로



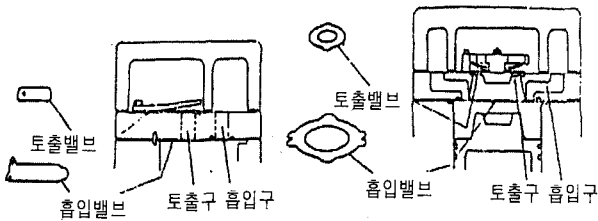
[그림 2] 왕복동공기압축기의 압축기본체 구조

| 번호 | 부품명칭      |
|----|-----------|
| 1  | 실린더 커버    |
| 2  | 실린더       |
| 3  | 주유규       |
| 4  | 유연체       |
| 5  |           |
| 6  | 크랭크신      |
| 7  | 크랭크샤프트(축) |
| 8  | 크랭크축 베어링  |
| 10 | 베어링 상자    |
| 12 | 피스톤(1단)   |
| 14 |           |
| 15 |           |
| 17 | 피스톤 핀     |
| 19 | 연결통       |
| 23 | 밸브늘리      |
| 24 | 철편        |
| 25 | 철편 커버     |
| 26 | 흡입필터      |
| 27 | 흡입밸브      |
| 28 | 토출밸브      |

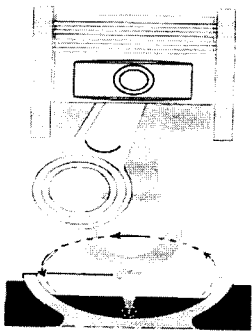


밸브의 조립상태를 보여준다.

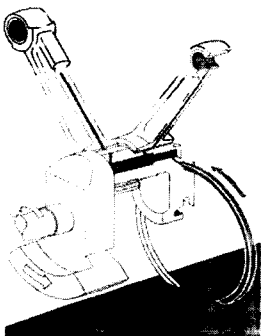
급유방식에는 비산식과 피더링식이 중소형 공기압축기에 많이 사용되고 있다. 비산식은 크랭크축에 붙어 있는 밸런스웨이트나 오일궤기에 의해 크랭크케이스내의 오일을 비산시켜 유회하는 방법이고 피더링식은 크랭크축에 링을 설치하여 크랭크축의 회전에 의해 링이 크랭크샤프트의 오일을 크랭크축으로 이동시키고 원심력에 의해 습동부로 오일이 공급되는 방식이다. 그림 4는 비산식, 그림 5는 피더링식 급유방식의 구조를 보여준다.



[그림 3] 리이드 밸브와 링 플레이트 밸브의 구조



[그림 4] 비산식 급유방식의 구조

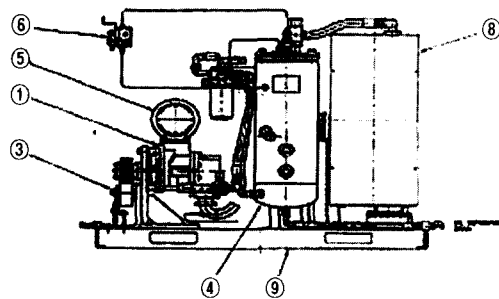
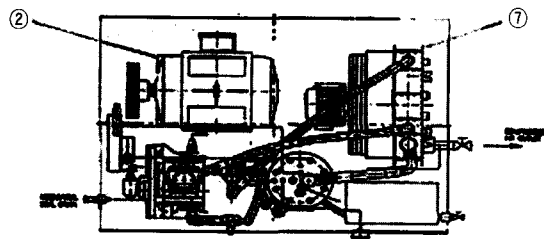


[그림 5] 피더링식 급유방식의 구조

### 스크류공기압축기의 구조

스크류 압축기의 원리는 1878년 독일의 Krigar에 의해 발명되었으나 기술상의 미비로 인하여 실용화되지 못하다가 1934년 스웨덴의 A. Lysoholm에 의해 공기압축기가 개발된 이후 스웨덴의 SRM사 (Svenska Rotor Maskiner A.B.)에 의하여 꾸준히 개발되었으며, 1950년 후반 이후 스크류 압축기는 산업적인 이용에 실질적으로 응용화되어 무급유식 가스압축기 생산에서 오일분사를 이용한 급유식 스크류 압축기가 공기용으로 사용되기 시작하다가 1966년경부터는 냉동용으로도 사용하게 되었다.

스크류공기압축기는 압축실내에 오일공급 여부에 따라 급유식과 무급유식으로 구분되어지고 본장에서는 일반적으로 많이 사용되는 급유식에 대해서만 언급한다. 스크류공기압축기는 그림 6과 같이 압축기 본체 (Air End)와 전동기, 오일분리기, 오일냉각기, 용량제어장치 및 기동기반으로 구성되어진다.



| 번호 | 부품명칭        | 번호 | 부품명칭   |
|----|-------------|----|--------|
| 1  | 압축기 몸체      | 6  | 운전제어기기 |
| 2  | 전동기         | 7  | 냉각기    |
| 3  | 전동장치        | 8  | 기동반    |
| 4  | 오일 분리기      | 9  | 베드     |
| 5  | 흡입교축밸브(언로더) |    |        |

[그림 6] 스크류공기압축기 전체 구조



## 스크류공기압축기 압축기본체(Air End)의 구조

스크류공기압축기의 압축기본체(Air End)는 그림 7과 같이 암수로타, 로터케이싱, 흡입케이싱, 토출케이싱, 밀봉장치 및 베어링으로 구성되어 있고, 그림 8과 같이 압축기의 주요부분인 압축기본체(Air End)의 케이스내에 들어있는 두개의 암수 로타(Rotor)가 서로 맞물려 회전되면서 형성된 공간으로 공기를 흡입, 압축, 토출함에 따라 압축공기가 생성되어진다.

### 스크류공기압축기의 장점

스크류공기압축기는 왕복동식 압축기에 비해 체적효율과 단열효율이 높고, 컴팩트하고 가벼우며 기계적인 진동이 거의 없으며, 입구 및 출구 어디에도 밸

브가 필요하지 아니하다는 장점으로 인하여 최근에 스크류 압축기의 요구가 매년 증가하고 있다.

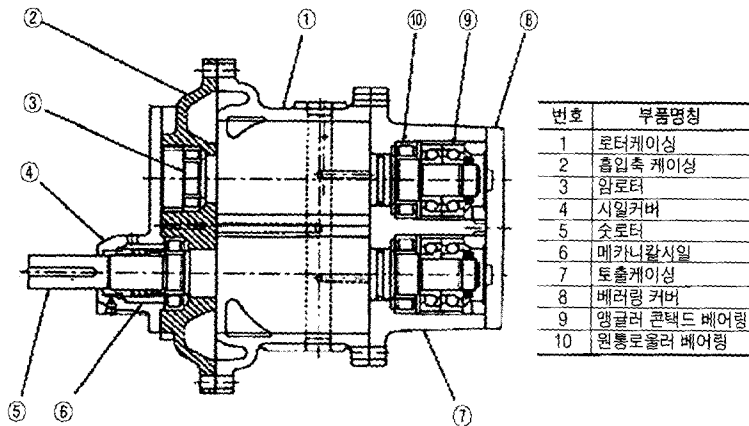
그리고 스크류 압축기의 성능효율증가에 대한 로터들의 기하학적인 차원 및 형상의 영향과 운전조건등에 관한 것은 거의 실험에 의존해 오다가 최근의 수치해법의 발전과 더불어 컴퓨터를 이용하여 압축기의 성능을 평가하는 연구가 계속 진행중이며, 이로 인하여 스크류 로터의 형상 또한 매우 다양하게 변모해 가고 있다.

스크류 압축기는 왕복동식이나 가동식식의 용적형 압축기와 원심식이나 축류식의 터보형 압축기 보다도 진보된 형태로서 다른 압축기의 특징과 장점을 고루 갖추고 있는 압축기이다.

스크류 압축기는 수로터와 암로터가 서로 맞물려 회전하면서 연속적으로 공기를 압축하는 것으로 터보형 압축기처럼 높은 회전수(3000RPM 이상)로 운전되며, 오일분사방식의 채택으로 고압축비를 요구하는 곳에도 적용할 수 있다. 이러한 스크류 압축기의 특징을 열거하면 다음과 같다.

- 체적효율 및 압축효율이 높기 때문에 고성능으로 경제적이다.

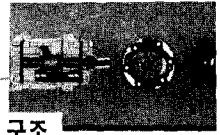
종래의 타압축기에 비해 큰 압축비에서도 고성능의 치형에 힘입어 높은 체적효율을 유지하며 또한 내부로의 오일분사작용으로 토출가스의 온도가 낮기 때문에 높은 압축비에서도 일단 압축이 가능하고, 접촉에 따른 마찰손실 최소화와 오일의 실링작용 등으로 인하여 축동력을 결정하는 압축효율이 높으며 타형식의 압축기에 비해 경제적인 운전이 가능하다.



[그림 7] 압축기본체(Air End) 단면구조



[그림 8] 압축기본체(Air End)의 압축원리



## 일반 산업용 공기압축기의 원리와 구조

• 습동부분이 적어 구조가 단순하고 고장이 적다.

스크류 압축기의 주된 습동부분은 베어링, 로터축 및 로터들과 케이싱과의 틈새에서의 윤활유의 이동등으로 압축기구 및 압축가스의 통로내에서는 마모에 따른 성능의 저하는 거의 없다. 특히 로터들의 수명은 로터 및 케이싱의 틈새에 오일이 공급되어 유막이 형성되어 회전하며 압축시 발생하는 개스력에 의한 로터의 휨은 설계초기에 최대 부하조건에서도 충분한 강도가 유지되도록 고려되어져 있으므로 거의 무시되어 손상없이 거의 반영구적이다. 그리고 스크류 압축기는 흡입 및 토출 밸브 등이 없기 때문에 밸브에 의한 마모등으로 인한 파손은 거의 없으며 부품수 또한 왕복동식 압축기에 비해 1/2 정도로 매우 적다.

• 소음이 적고 압축통로내에 맥동 및 진동이 거의 없다.

스크류 압축기는 두개의 로터들이 서로 맞물려 회전하는 용적형 압축기로 고속회전에 따른 가스의 흐름에 대한 맥동이나 불균일한 압축은 거의 일어나지 않는다. 또한 로터 표면에 유막을 형성하면서 회전

하므로 왕복동식 압축기의 실린더내에서와 같은 진동은 발생하지 않는다. 주로 스크류 방식에서 발생하는 주소음원은 구동로터인 슛로터로서 고속회전에 따른 고주파수에 해당되는 소음으로 이는 2중벽 구조의 케이싱으로써 쉽게 감소시킬수 있는 것으로 최근 이러한 구조의 압축기가 많이 보급되고 있다.

• 운전이 안정적이며 보수가 용이하다.

스크류 압축기는 용적형이므로 회전수의 변화에 의하여 운전압력이 변화하여도 압축효율은 큰 변화가 일어나지 않는다. 또한 압축기구는 구조가 단순하여 슛로터, 암로터와 케이싱류로 구성되어 매우 단순하며 축수부, 용량조절장치 등으로 구성되어 구조가 간단하므로 보수가 용이하다.

• 소형 경량이며 대용량에 대해서도 공유면적이 적다.

스크류 압축기는 구성이 간단하고 부품수가 적고 고속회전으로 로터 크기를 적게 할 수 있기 때문에 동일 용량을 가진 기존의 압축기에 비하여 훨씬 가볍고 소형이다. ●