

# 1. 진공의 기초

## 1.1 진공의 정의

- 대기압보다 낮은 상태
- 분자밀도  $< 2.5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$
- 실제적 진공 영역의 구분

| 진공영역        | 압력 범위                                    |                                              |
|-------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|
|             | mbar                                     | torr                                         |
| 저진공(low)    | 33.3 ~ 1013.25                           | 25 ~ 760                                     |
| 중진공(medium) | $1 \times 10^{-4} \sim 33.3$             | $7.5 \times 10^{-4} \sim 25$                 |
| 고진공(high)   | $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$ | $7.5 \times 10^{-7} \sim 7.5 \times 10^{-3}$ |

- 저진공 : 대기압으로부터 25torr(0.033기압 – 약 1/30 기압)까지
- 현대적 의미의 진공

실제로는 완전한 진공을 만들기가 매우 어렵기 때문에 보통  $1/1000(10^{-3})\text{mmHg}$  정도 이하의 저압을 진공이라 한다. 진공으로 만든 용기 내에 남아 있는 기체의 압력을 그때의 진공도라 한다. 진공 전구의 진공도는  $10^{-2} \sim 10^{-5}\text{mmHg}$ , 수신용 진공관은  $10^{-4} \sim 10^{-6}\text{mmHg}$ , TV브라운관은  $10^{-6}\text{mmHg}$  정도이다. 현재 인공적으로 도달할 수 있는 최고진공도는  $10^{-12}\text{mmHg}$  정도인데, 이때에도  $1\text{cm}^3$ 당 약 3만 5000개나 되는 기체분자가 남아 있다고 한다.

## 1.2 진공의 이용

### 1.2.1 일상생활에서의 진공 이용

- 진공주사기, 착유기, 이불 보관 팩, 청소기 등

### 1.2.2 산업용 및 공업용으로 진공의 이용

- 고분자 중합, 금속제련, 제련시의 기포 제거, electron-beam 용융, 특수용접, 증발탈수 코팅, 금속박막코팅, 고진공에서의 부분용융 및 결정 생성, 분자 증류, 액내 기체 제거, 승화 공정, 수지 또는 래커의 성형공정, 플라스틱 건조, 절연지 건조, 식품 냉동건조, 의약품 냉동건조, 백열등 제조, 전선 제조, gas discharged tube 제조 등

### 1.2.3 물리/화학 등 연구 분야에서의 진공의 이용

- 분광기, 입자가속기, 초저온연구, 박막연구, 표면물리학, 핵물리학 등

## 1.3 진공의 형성

- 내부 구성물질을 밖으로 빼내는 진공법(gas transfer)과 내부 물질을 펌프내의 특정 위치에 잡아 가두는 진공법(gas entrapment)으로 나눌 수 있다.

- 어쨌든 대기압으로부터  $10^{-10}$  torr까지의 진공을 만들려면 하나의 펌프로서는 불가능하며 여러 개의 펌프를 이용하여 단계별로 압력차를 만들어 요구 진공도에 다다를 수 있다.

#### 1.4 진공 펌프의 선택 기준

- 1.4.1 **Ultimate pressure**(최고 도달 진공도) – 고진공일수록 좋다.(조건에 따라 고려)
- 1.4.2 사용 압력 범위 – 펌프의 적절 작동 압력 범위 – 넓을수록 좋다.
- 1.4.3 배기속력 – 압력에 따라 달라지는 진공펌프의 배기속력을 고려
- 1.4.5 배기압력 – 펌프내부에서 압축된 가스의 압력이 배기구 외부압력보다 높을 때에만 배기가 가능하므로 배기구 외부 압력을 고려하여 용량 선택

#### 1.5. 진공의 필요성

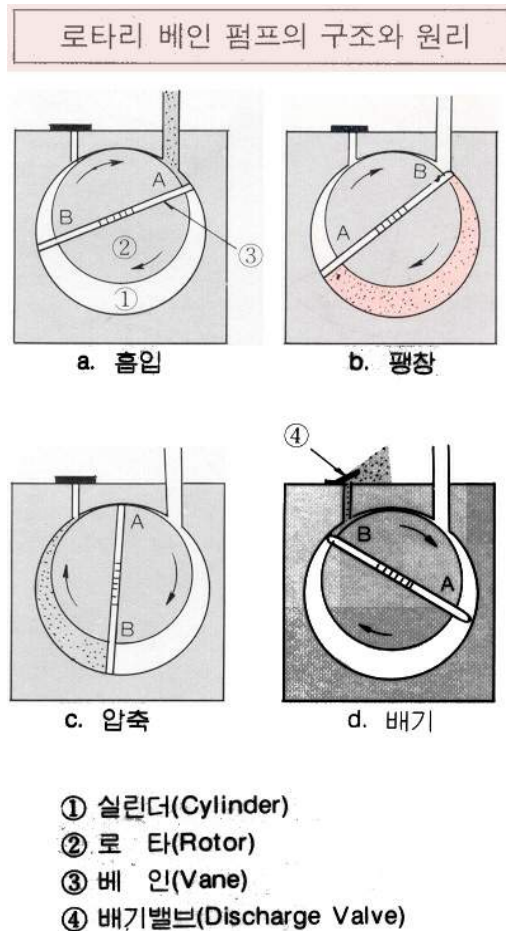
- 여러 공정상의 필요에 의해 비진공상태에서보다 훨씬 높은 수율, 작업성 등을 얻을 수 있으며 역시 고품질의 제품을 얻을 수 있다.(반도체, 석유화학 등)

#### 1.6 용기(chamber)에 물을 담고 진공을 가해주면?

- 물이 바로 빨리 올라가는 것이 아니라 물이 일단 기화 된 뒤 가스상태로 압력차에 의해 빠져나가게 된다. 즉 물이 기화 되려면  $100^{\circ}\text{C}$ 가 되어야 하지만 진공이 가해진 상태에서는 그 이하의 온도에서도 물은 수증기가 될 수 있다. 즉 수면 위로 진공이 걸리면 물분자들은 압력이 낮아진 수면 위로 기화되어 증발하게 되는데 이 경우 남아있는 물분자들은 증발하는 물분자들에게 에너지를 뺏기게 되어 심한 경우 얼어버리게 될 수도 있다. (부탄가스를 사용하면 부탄가스 통의 온도가 떨어지는 것과 같은 원리)
- 따라서 진공시스템을 구축할 경우 공기 중에 잔류하는 수분(수증기)에 충분한 에너지가 공급되지 않으면 응축에 의한 장애가 발생할 수 있다. 특히 화학, 반도체 등의 공정에서는 치명적이다.
- 위와 같은 위험을 방지하기 위해 진공 chamber의 크기, 시스템의 기하학적 구조, 공기중의 수분함량, 배관, 진공펌프의 배기 속력 등이 면밀히 고려되어야 한다.

## 2. Rotary Vane Pump

### 2.1 일반적 구조



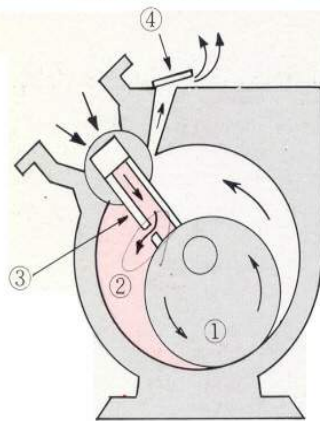
### 2.2 주요 특징

- 편심된 로터와 실린더의 중심에 의해 베인은 원심력에 의해 실린더 내면에 밀착하여 회전하게 되고 오일의 **sealing** 작용에 의해 압축 및 배기 공정이 생긴다.
- 오일의 점도가 너무 낮으면 **sealing**이 제대로 되지 않고, 점도가 너무 높으면 회전 시 과부하 발생 가능, 따라서 제조업체별 추천 오일을 사용하는 것이 일단 효과적이다.
- 위 그림 ④에서와 같이 배기되지 않고 펌프 내에 일부 가스가 배기되지 않고 남게 되는데 이에 의해 배기속력이 떨어지고 **ultimate pressure**가 낮아져서 진공도 저하가 생긴다. 이런 경우를 개선하기 위해 다단으로 펌프를 사용할 수도 있다. (한 펌프내부에서 다단으로 압축할 수도 있다)

## 2.7 Rotary Piston Pump

- 실린더의 중심과 편심이 되어있는 로타가 실린더의 축을 중심으로 캠운동을 하고 있고, 피스톤이 로타의 표면에 밀착된 상태로 왕복운동을 하면서 실린더가 두 개의 공간으로 분할된다.
- 이 공간의 용적이 로타의 회전에 따라 수축, 확장을 반복하면서 공기를 흡입한 후 이를 다시 압축시켜 배출하는 펌프.
- 로터리 피스톤 펌프의 최대 진공도도 로터리 베인펌프와 거의 비슷하나, 회전수가 동일한 경우 로터리 베인 타입 보다 흡입주기가 길게 되어 진공 발생의 진동이 크게 되는 단점이 있다.

로터리 피스톤 펌프의 구조와 원리



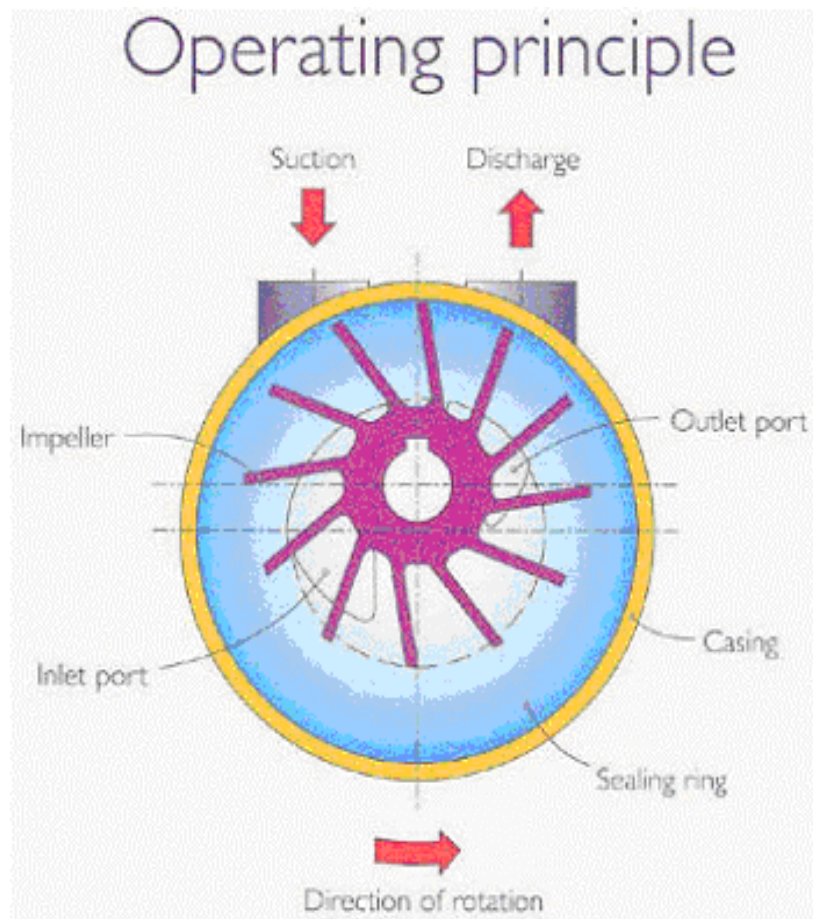
- ① 로 타(Rotor)
- ② 실린더(Cylinder)
- ③ 피스톤(Piston)
- ④ 배기밸브(Discharge Valve)

## 2.8 Liquid Ring Pump

- 수봉식 펌프는 실린더 내에 액체가 차 있는 상태에서 작동하므로, 흡입되는 공기 에 부식성 가스나 다량의 수분이 함유 되어 있는 공정에 많이 쓰인다. 그러나 실린더 안의 액체의 온도에 따라 진공도가 달라지고, 급수 및 폐수처리를 위해 부대 시설을 갖추어야 하는 등의 단점이 있고, 도달 진공도도 만족스럽지 못한 경우가 많다.
- 이 펌프는 여러 개의 날개를 가진 회전익과 실린더로 구성되어 있다. 임펠라는 실린더와 편심되어 회전을 하는데 이때 실린더 안의 액체는 임펠라에 의해 회전력을 부여 받아 회전을 하게 되고, 여기서 오는 원심력으로 액체가 실린더 벽면에 달라 붙어 원형의 고리를 형성하게 된다. 따라서 임펠라와 액체고리 사이에

는 임펠라의 편심 차이에서 오는 초생달 모양의 공간이 생기게 되고, 이것이 로타리 베인 펌프에서와 같은 원리로 진공을 형성하게 된다.

#### 수봉식 펌프의 기본 구조



### 3. DRY PUMP TECHNOLOGY

#### 3.1 서론

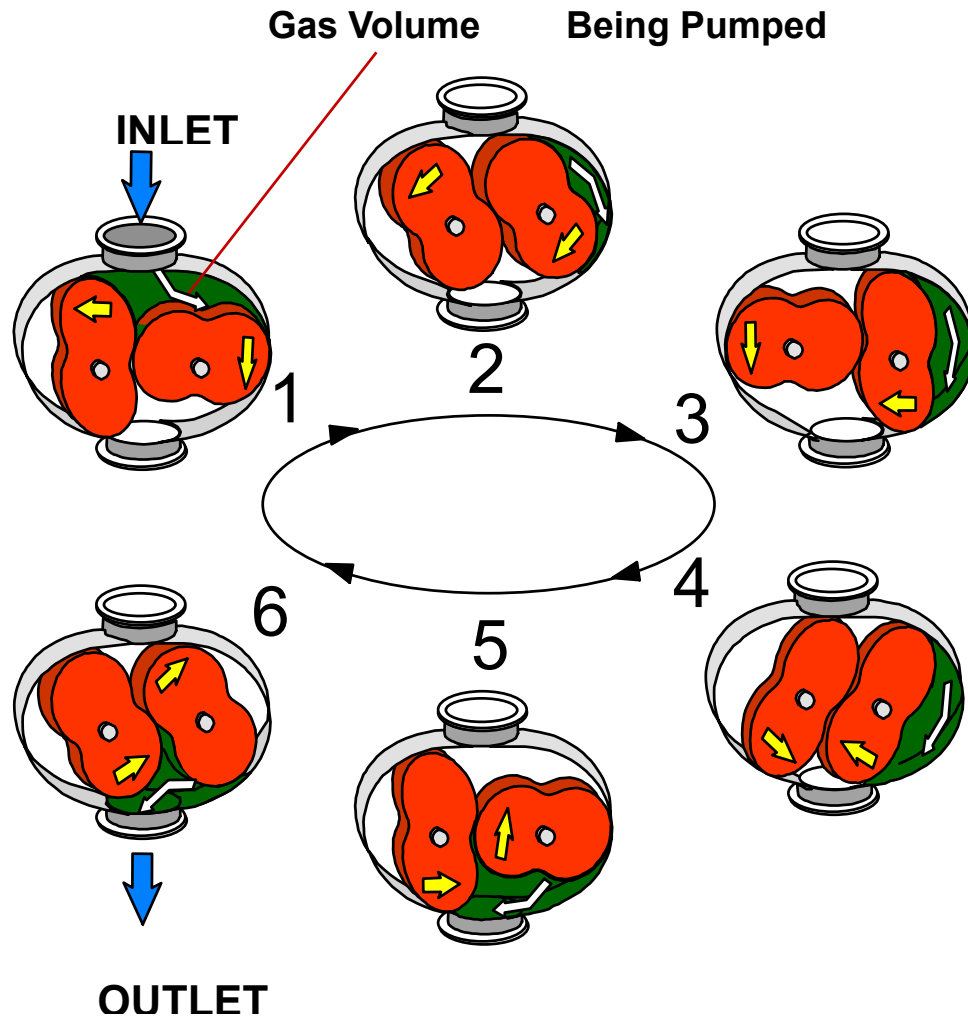
- 기본적으로 공정 chamber 내에 형성되는 지공을 유지하기 위해 밀폐와 윤활기능을 하는 오일이 들어 있지 않는 진공펌프 → 건식(DRY) 펌프
- 공정 신뢰도, 공정 안정성, 운영경비 절감, 폐기물 처리비용 절감의 효과를 기대할 수 있다. → 기계적 신뢰성(안정적 구동)의 문제보다는 오일에 의한 오염을 최소화 하는 용도에 적합하다.
- screw, claw, roots, roots와 claw의 조합형 등이 있다.

#### 3.2 Screw Type Vacuum Pump

- 산업용으로 개발되어 반도체용으로 쓰이게 됨. 액체 성분이 펌프 내부로 유입되는 경우에 유용하지만 1단으로 구성된 시스템이기 때문에 많은 에너지가 필요하다.
- 배기 속력이 매우 크고 구동온도가 높기 때문에 유입되는 액체 성분과 응축성 성분들을 상대적으로 감소시킬 수 있지만 구동온도가 높으면 배기라인에서 고도의 부식성 가스로 인해 배관에 부식이 발생할 위험이 높다.
- 수직형과 수평형 모두가 쓰이고 있으며 같은 성능의 roots type에 비해 3배 이상의 회전속도가 필요하다. → leak가 발생할 가능성이 아주 높으며 베어링 등의 회전 부위에 윤활 및 소음의 문제가 발생한다.

#### 3.3 Roots Type

- 밸브가 없는 양압 이송 방식
- 펌프 내부에서 한 쌍의 잎사귀(lobe)모양 회전자가 서로 맞물려 반대방향으로 같이 회전하면서 입구 쪽에서 출구 쪽으로 가스가 이동, 배출되는 구조
- 매우 큰 배기 속력을 얻을 수 있으며  $10 \sim 10^{-3}$  mbar의 압력범위에서 매우 효과적이지만 흡입구와 배기구의 압력차가 적을 때만 사용할 수 있다.
- 이 방식은 이송식 펌프 형태이기 때문에 송풍기(blower)라고 부르는 학자들도 있으며 진정한 의미의 압축이 아니기 때문에 고 압축비로 압력이 높은 곳으로 가스를 배기하는 용도에는 적합하지 않다.
- 이러한 문제점은 최대 압력차를 넘지 않도록 하는 pressure relief bypass 밸브를 장착함으로써 높은 압력차에서도 제한적으로 사용할 수 있다.
- 또 다른 해법은 모터와 펌프의 연결을 fluid drive coupling으로 하는 것인데 이렇게 하면 펌프가 안전압력한계를 넘지 않게 되며 압력이 높을 때는 모터가 느려져서 과부하나 과열을 방지 시켜 준다. 이러한 hydrokinetic 방식은 BOC Edward 부스터 펌프만의 독특한 특징이다.



**Roots type pump의 공정 개관**

● 산업 현장에서 쓰이는 진공 펌프의 종류

각기 다른 진공 영역에 따라 진공을 발생시키는 진공펌프의 종류가 다르게 된다는 것은 위에서 나타난 바와 같다. 진공펌프의 종류를 좀더 상세히 도식적으로 구분해 보면 아래와 같다.

- 1) 건식 로타리 베인 펌프 (DRY-RUNNING ROTARY VANE PUMP)
- 2) 만유식 로타리 베인 펌프 (OIL FLOODED ROTARY VANE PUMP)
- 3) 순환 급유식 로타리베인 펌프 (OIL CIRCULATED INJEKRED ROTARY VANE PUMP)
- 4) 배출 급유식 로타리 베인 펌프 (ONCE -THROUGH OIL INJECTED ROTARY VANE PUMP)
- 5) 로타리 피스톤 펌프 (ROTARY PISTON PUMP)

- 6) 로타리 기어 펌프 (ROTARY GEAR PUMP)
- 7) 피스톤 펌프 (PISTON PUMP)
- 8) 다이어애크뎡뎡 (DIAPHRAM PUMP)
- 9) 루츠 펌프 (ROOTS PUMP)
- 10) 수뎡식 펌프 (LIQUID RING PUMP)
- 11) 터보 분자 펌프 (TURBO MOLECULAR PUMP)
- 12) 확산 펌프 (DIFFUSION PUMP)
- 13) 이젝타뎡프 (STEAM EJECTOR/GAS EJEOR)
- 14) 흡착 펌프 (ABSORPTION PUMP)
- 15) 이 온 펌프 ( ION PUMP)
- 16) 게터 펌프 (GETTER PUMP)
- 17) 승화뎡프 (SUBLIMATION PUMP)
- 18) 저온 펌프 (CRYO PUMP)