Cryopump의 국산화 현황

이성진, H.D. Kishore
Cenesis Vncuum Technologies

1. 여는 글

대부분의 진공 Pump들은 용기내의 분자들을 외부로 배출시켜 진공을 만드나, Cryopump는 배출 방식과 달리 용기 내부에 있는 분자들을 움직이지 못하게 하여 진공을 만드는 독특한 Pump이다. 비록 분자들이 Pump내부에는 있으나 분자들이 정지 상태이므로 압력이 발생하지 않으며, 분자들이 용기 벽에 충돌하지 않고 어떤 한곳에 모일 수 있게 만들 수 있는 것은 다음의 기체 분자 운동론을 적용하여 보면 알 수 있다.

$$1/2\ mv^2 = 3/2\ KT$$

상기 식에서 만일 온도 T를 O K(-273℃)로 만든다면, 기체 분자들의 질량 m 이 0 이 될 수 없으므로 속도 v 가 0 이 된다. 다시 말해서 절대온도 T를 O K로 만들 수 만 있다면, 기체 분자들은 움직이지 못하는 상태가 되고, 압력이 0 이 된다는 것을 알 수 있다.

Cryopump는 극저온을 이용하여 진공을 만드는 응용분야로 Pump 내부의 온도를 수 K까지 낮추어 분자들을 응축(Condensation), 흡착(Adsorption)방법으로 움직이지 못하게 잡아 둠으로 해서 압력을 낮추게 된다. Cryopump 내부에는 가장 핵심적인 구동부가 있으며, 오일을 사용하지 않는 매우 청정한 Pump이다. 또한 다른 고진공 Pump와 비교하여 Throughput이 탁월하여 반도체 산업과 같은 고진공, 고청정을 요구하는 공정에 널리 사용되고 있다.

2. Cryopump

일반적으로 Cryopump라고 하는 것은 Cryopump System 전체를 지칭하는 광의적인 의미로 많이 사용되고 있지만, 조금 더 전문성을 부여하면 다음과 같이 기본적인 구성이 된다. 먼저 He을 팽창시킬 수 있는 Expander가 있는 부분을 "Cryopump", Cryopump에 고압의 He을 공급하는 장치인 "Cryocompressor", 두 부분을 연결시켜주는 He Hose로 구성된다. 이 기본 장치외에 부가 장치로는 온도 및 진공 측정 장치, 원하는 온도 및 진공을 제어하는 장치등 많은 부수적인 부품이 있다.

2.1. Cryocompressor

Cryocompressor는 가장 순수한 고압, 상온 상태의 He Gas를 Cryopump의 Expander에 공급하고, Cryopump로부터 돌아오는 He을 다시 승압, 열교환(냉각), 정화하여 Cryopump에 공급하는 중요한 역할을 한다. 일반적으로 Cryopump라 하면 Cryopump만 검토하며 Cryocompressor를 조금 등한시하는 경우가 종종 있다. Cryopump가 핵심 기술이지만, Cryocompressor는 Cryopump의 성능에 직접적인 영향을 미치기 때문에 Cryocompressor 설계가 아주 중요하게 된다.

한 예로써, 만일 대 용량의 Cryopump를 설계하였다면, 반드시 그에 부응하는 Cryocompressor가 따라야 한다. 물론 작은 용량의 Compressor로 Cryopump를 구동할 수 있지만, Chill Down Time이 길어져 단위 시간당 생산성을 생각할 때 문제가 된다. 일반적으로 Cryopump 설계시 가장 먼저 고려되어야 할 인자는 Cryocompressor에서 공급할 수 있는 He의 압력과 유량이기 때문이다.

2.1.1 Compressor Capsule

그림 1은 일반적인 Cryocompressor의 개략도를 나타낸 것이며, 가장 중요한 부품은 압축 구동부가 있는 Capsule 부분이다.

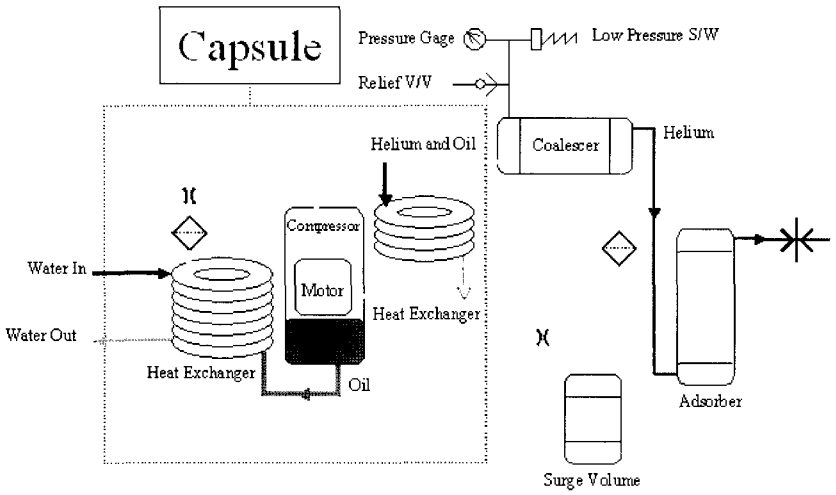

그림 1. Schematic Diagram of Cryocompressor

He 을 압축시키는 구동부가 있으며, 고온의 He Gas와 Oil을 냉각시키는 열교환기가 있다. Compressor에서 나오는 He Gas 냉각 방식은 수냉식과 공냉식이 있으나 대부분 수냉식을 사용하고 있다. 열교환기에서 냉각된 Oil은 다시 흡입되는 He Gas에 분사, 혼합하여 Capsule 속으로 들어가게 된다. Cryocompressor에 사용되는 compressor는 범용 Compressor, He 전용 Compressor로 나누어 볼 수 있으며 범용 압축기에 대하여 간단히 언급하고자 한다.

Cryocompressor의 경우, He을 냉매로 사용하고 있으며, 일반적인 냉동 사이클보다 초기 충진 압력이 높다. 초기 충진 압력은 제작사에 따라 다르며 초기 충진 압력의 대부분은 200 - 250 psig 이다. 초기 충진 압력이 높은 경우, Cryopump의 성능을 향상시킬 수 있으나 압축기의 내구성을 고려해야 하기 때문에 무한정 높일 수는 없다.

먼저 Cryocompressor의 경우, 가장 중요한 것은 He을 압축하는 구동부이다. He의 비열이 일반적인 냉매보다 크기 때문에 일반적인 범용 압축기를 그대로 사용하는 것은 문제가 있다. 따라서 범용 압축기를 이용하여 Cryocompressor를 제작하는 경우, 먼저 고려해야 할 사항은 압축기의 과열 방지를 위한 냉각 방법이다. 이것은 압축기의 내구성과 관련이 있으며 압축기가 과열될 경우 압축기 Oil 소산으로 인한 He이 오염되어 Cryopump에서 성능 저하를 발생한다. 일반적으로 Compressor의 과열을 방지하기 위하여 압축기 Body를 감싸는 Water Jacket Type 열교환기, 냉각 Coil을 Capsule Body에 Brazing하는 방법, Oil Sump 에 있는 Oil을 냉각하는 방법이 있으며 이용 방법은 두 가지 이상 조합하여 냉각을 한다.

두 번째로 He 전용 압축기를 사용하는 방법이다. He 전용 Compressor는 전 세계적으로 일부 업체에서만 생산을 하고 있으며, 용량이 다양하지 않아 선택의 범위가 넓지 않다. He 전용 Compressor는 범용 압축기와 특별히 다른 점은 Oil Sump 부분에 Oil Port가 있다. 이것은 Oil을 냉각시키기 위한 Port로 반드시 Cryocompressor를 설계 할 때 Oil용 열교환기는 사이클이 형성되도록 최적 설계가 되어야 한다.

2.1.2 Coalescer Assembly

Capsule에서는 He을 압축하는 구조에 있어 반드시 Oil을 사용하게 된다. 따라서 Capsule에서 나온 He Gas는 Oil과 혼합된 Gas가 된다. 전술한 바와 같이 Cryopump에서는 가장 순수한 He을 냉매로 필요로 하기 때문에 반드시 Oil을 제거해야 한다. 따라서 Coalescer Assembly는 일반적으로 냉동 시스템에서 일컫는 Oil Separator와 같은 기능을 가지고 있다. 즉 어떻게 하면 많은 Oil을 Trap하면서 Pressure Drop을 작게 하느냐가 설계 요소가 된다. Coalescer Assembly 구조는 압력 용기 안에 Oil Mist

가 많이 접촉할 수 있는 면적을 가지기 위하여 다공성 물질이 압축되어 있다.

2.1.3 Adsorber

1차로 Coalescer Assembly에서 Oil을 Trap하였지만 완벽하게 모든 Oil Mist를 포집할 수 없기 때문에 2차로 Oil을 Trap할 수 있는 구조가 Adsorber이다. 따라서 다공성 물질인 Charcoal 사이로 He Gas를 통과시켜 He에 있는 Oil을 포집하는 장치이다.

2.1.4 Surge Bottle

Cryopump는 일반적인 냉동시스템에서는 냉매가 연속적으로 흐르것과는 달리 냉매가 주기 운동을 하기 때문에 Capsule로 들어오는 He은 맥동을 하게 된다. 따라서 이 맥동압을 축소시켜 Capsule로 들어 가는 압력을 일정하게 하는 압력 용기이다.

2.2 Cryopump

Cryopump에 사용되는 저온 냉동기는 많이 있으나, 본 글에서는 Gifford-McMahon 냉동기를 이용한 Cryopump에 대하여 언급하고자 한다. G-M 냉동기는 1959년 A.D. Little사에서 처음으로 개발이 되었으며, 압축기(Cryocompressor)에서 압축된 He Gas를 Displacer를 통하여 Cylinder 내부로 이동시키는데, 이때 압축되었던 He Gas가 실린더 팽창 구역에서 압력이 갑자기 떨어져 He이 팽창하여 온도가 급속히 낮아지게 된다.

이때, 팽창되었던 He이 실린더 벽을 통하여 열전달되고 실린더에 붙어있는 Array의 온도를 낮추게 된다. 온도가 낮은 Array에 분자들이 충돌하게 되면 운동 에너지가 작고 질량이 큰 분자들(Ar,O2, H20 : Low Boiling Point)은 얼어붙게(Cryocondensation) 되고 운동에너지가 큰 분자들(H2, He, Ne : Very Low Boiling Point)은 Array에 충돌한다. 이 때 에너지를 잃은 상태이지만 완전하게 정지하지는 않기 때문에 다공성 물질인 Charcoal내의 미로 같은 구멍 속에 가두어 밖으로 빠져나가지 못하게 함(Cryosorption)으로서 진공상태(압력을 낮춘 상태)로 만들게 된다.

Cryosorption은 Second Stage Array에 부착되어 있는 다공성 물질인 Charcoal에서 H2, He, Ne을 Pumping하는데, 활성탄인 Charcoal은 스펀지 구조와 비슷하여, 무수히 많은 미로, 거대한 표면적을 갖고 있어, 질량이 작은 수소나 헬륨 등은 Array에 응축되지는 않지만 운동에너지가 작게 된 기체 분자들은 Charcoal 표면의 미세한 구멍을 통해 내부로 들어가게 되면 미로 내벽을 연속적으로 충돌하여 계속적으로 자신의 에너지를 잃고 결국에는 완전히 정지하여, Charcoal내부에 머물게 됨으로써 압력이 낮아(진공도가 좋다)지게 된다.

일반적으로 Cryopump는 그림 2와 같이 Body, Expander, 1st Stage Array, 2nd Stage Array로 구성된다. Body는 Expander가 원하는 온도까지 떨어 질수 있도록 압력을 유지하는 큰 Chamber이다. 대부분 SUS 304로 제작되며 이물질을 포집할 수 없도록 매끈한 표면이 좋다.

Expander는 Cryopump에서 운동부가 있는 가장 핵심 부품이며, Cryopump의 사용 목적에 따라 Expander를 다르게 설계한다. 생산업체에 따라 설계 사양이 다르기 때문에 서로 다른 성능을 가지고 있으나, 구조는 거의 유사하다. Expander를 크게 나누어 보면 He을 이동시키는 Displacer, 팽창된 열을 축냉하면서 열교환하는 Regenerator, 팽창 부피를 갖는 Cylinder, Displacer를 이동 시킬 수 있는 Motor로 구성된다. 현재 사용되고 있는 냉동 방식은 Gifford Mcmahon Cylcle을 이용하여 극저온을 발생시키는 부위로써, 1st Stage 온도는 60 - 140 K, 2nd Stage 온도는 4-20 K를 이용하고 있다.

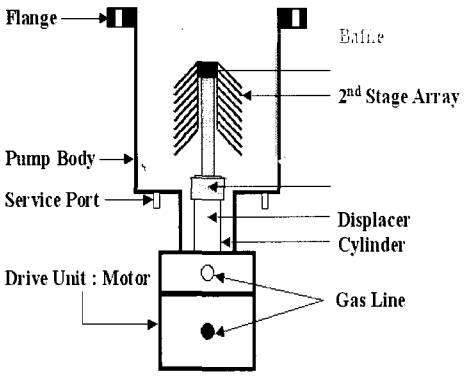

그림 2. Typical Cryopump

6. 맺는 글

Cryopump 생산 업체는 세계적으로 크고 작은 업체가 많이 있으나, 미국, 일본, 독일등 선진국에서 직접 설계, 제작, 시험되고 있다. 한국의 경우, Cryopump와 관련하여 외국의 대리점 또는 지사 형태로 존재하면서, Cryopump 판매 및 수리업무, A/S를 담당하고 있다. 2003년 반도체 제조 장치 Data Book에 따르면 세계 반도체 장비 시장의 규모는 2005년도에 413.74 억불을 예상하고 있다. 세계 반도체 시장의 1/3을 가지고 있는 우리나라의 경우, Cryopump 시장은 상당히 크며, 조금씩 증가하는 추세에 있다. 하지만 우리나라에서 Cryopump에 대한 상업적인 설계, 생산은 2003년도까지 완전히 전무한 상태였다. 따라서 Cryopump, Cryocompressor에 대한 설계 능력은 낮은 수준에 불과하였으며, 일부 업체는 Crypump 및 Cryocompressor 국산화를 시도를 하였으나 사업화에는 성공하지 못한 것으로 보고되고 있다.

Cryopump에 연구 개발은 1990년부터 정부출연 연구소, 일부 학교에서 연구목적으로 수행되어 왔으며, Cryopump 설계, 제작 및 응용에 대한 사업화는 이루어지지 않았다. 하지만 우리나라의 Cryo 시장, 잠재적인 성장을 고려할 때 Cryopump에 대한 국산화는 시급한 상황이다. 하지만 다행스럽게도 2003년 초부터 미국에 본사를 둔 Genesis Vacuum Technologies는 한국에서 Cryopump 및 Cryocompressor에 대한 설계, OEM 생산을 할 수 있도록 기술이전을 수행하고 있다. 또한 일본의 모 업체도 Cryopumps 생산을 한국에서 할 수 있도록 기술 이전을 검토하고 있다고 보고된다.

향후 항공.우주 개발 및 수소 핵융합 연구개발의 진공 기술 증진과 국내 반도체 및 OLED 산업, 의료 산업에 있어 원활한 진공기술을 공급하기 위해서는 국내에서 Cryopump 및 Cryocompressor에 대한 설계 및 Low Cost Manufacturing, Vacuum System 설계가 가능해야 한다. 한국에서 Cryopump에 대한 설계 및 생산이 가능할 경우, 수입 대체 효과, 생산 기업의 이윤 증대 및 고부가 가치 창출을 가져 올 것으로 예상된다.

저자이력

이성진(SungJin Lee)
Principal Research Engineer
Genesis Vacuum Technologies
1991, 경북대학교 대학원 기계공학과 졸업
1991 - 1996 한국기계연구원 선임연구원
1997 - 2000 (주) 현민기연 책임연구원

H.D. Kishore
Director of Technology
Genesis Vacuum Technologies
1970, Master of Science in Mechanical Engineering, University of Kerala, India
1981-1989 Varian Associates, Manager
1989-1995 Ebara Technologies, INC., Manager