≪연구논문≫ 한국진공학회지 제17권 4호, 2008년 7월, pp.292~301

스크류 형 건식진공펌프 기술 현황 및 응용

노명근*, 황태경, 박제우

㈜ 엘오티베큠, 안성 456-370

(2008년 7월 3일 받음, 2008년 7월 21일 수정, 2008년 7월 22일 확정)

반도체 및 디스플레이 공정과 같이 진공의 높은 청결도의 진공이 필수적으로 요구되어 지는 산업분야가 확대됨에 따라 건식진공펌프의 중요성은 급격히 증대되어 왔다. 다단루츠형 진공펌프와 함께 건식진공펌프 양대 축의 하나를 형성하는 스크류형 건식진공펌프는 공정부산물 발생이 많은 고 난이도 응용분야에서 그 장점을 발휘하여 왔다. 최근 들어 에너지 효율이 획기적으로 개선된 스크류형 건식진공펌프의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이 총설논문에서는 스크류형 건식진공펌프의 전반적 기술사항들을 살펴보고 실제 반도체 공정에의 응용 및 스크류형 건식진공펌프의 향후 발전 방향에 대하여 살펴보았다.

주제어 : 건식진공펌프, 진공펌프, 스크류형 건식진공펌프, 스크류로터, 백킹펌프

Ⅰ. 진공기술 및 진공펌프의 발전

진공상태란 대기압보다 낮은 압력상태를 의미하는데 진공의 정도는 단위 부피당 존재하는 기체분자들의 수에 의해 결정된다. 일반적으로 진공상태란 기체분자밀도가 2.5 x 10^{19}개/cm^3 이하를 일컫는다[1]. 진공기술의 발전은 17세기 이후 인류의 기술개발과 같이하여 왔다. 최초의 인위적 진공의 형성은 1640년 이탈리아의 Gasparo Berti에 의해 물을 가득 채운 납 튜브를 물통에 거꾸로 세울 경우 튜브 속 물의 일부가 내려와 윗부분에 공간을 남기는 실험을 통하여 이루어진 것으로 알려지고 있다[2]. 진공기술의 발전은 필연적으로 인위적 진공 형성에 필요한 진공펌프의 발전과 더불어 형성된 진공의 정도를 보다 정확히 측정해 줄 수 있는 진공게이지의 발전과 병립하여 발전되어 왔다. 이들의 발전은 19세기에 이르러 에디슨의 백열등 발견, 최초의 공기액화, x-ray 발견 및 전자의 발견 등을 이끌어 냈다. 이러한 진공기술에 바탕한 과학기술의 발전은 20세기 산업기술 발전의 한 축을 담당하는 진공관의 개발을 거쳐 대규모 진공시스템의 개발과 반도체 산업을 포함한 전 산업에의 발전에 지대한 기여를 하여왔다.

진공펌프의 발전은 1850년으로 알려진 Geissler-Toepler 펌프를 시작으로, 1905년 Gaede에 의해 현재의 일반적 진공펌프 원리와 유사한 로터리 수은펌프의 개발에 이르렀고, 곧 이어 분자펌프와 확산펌프 등 다양한 형태의 진공펌프의 출현을 가져와 모든 산업영역에 거친 다양한 응용분야에 활용되는 현 상태에 이르게 되었다. 다양한 형태의 진공펌프는 진공형성을 위한 기체분자의 제거형태에 따라 크게 기체 이송식(Gas transfer type)펌프와 기체 흡착식(Gas entrapment type)펌프 두 가지로 구분된다[3]. 게터펌프, 이온펌프, 크라이오 펌프로 대표되는 기체 흡착식 펌프는 일반적으로 고진공 및 초고진공(UHV) 혹은 극초고진공(XHV) 영역에서 주로 사용된다. 반면 회전식펌프(Rotary pump), 터보펌프(Turbo pump), 확산펌프(Diffusion pump) 등으로 대변되는 기체 이송식 펌프는 주로 저진공에서 고진공영역에 걸쳐 사용된다. 진공을 형성하기 위해 주어진 폐쇄된 공간내의 기체분자들을 제거할 때 기체분자들은 저진공 상태일 때와 고진공 상태일 때 크게 다른 거동을 보인다. 다시 말하여 고진공 상태로 갈수록 기체 분자 간 상호연관성이 줄어들어 개별 분자운동(Molecular flow)에 가까워지는 반면 저진공 상태로 갈수록 기체분자들의 상호운동 영향성이 커져 집합적인 분자운동(Viscose flow)으로 다루어져야 한다[4]. 서로 다른 진공펌프들은 다양한 배기(pumping) 메커니즘에 기반하여 설계되는데 배기 메커니즘이 상이할 경우 최적의 기능 상태에서 사용될 수 있는 진공영역이 달라질 수 있다. 일반적으로 기체흡착식 펌프와 분자펌프 및 확산펌프와 같은 고진공 펌프들은 단독으로 쓰이지 못하고 끝 단에 회전식펌프(Oil rotary pump, Dry pump 등)가 병렬로 조합된 형태의 배기시스템으로 구성되

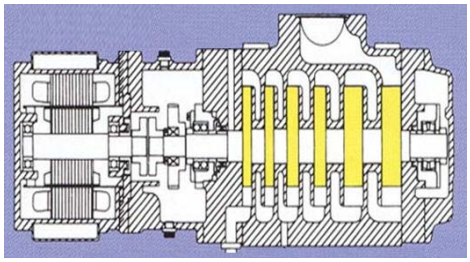
* [전자우편] nmk@lotvacuum.com

어 사용된다. 최근 들어 일부 펌프사에서 저진공 영역에서부터 고진공 영역에 걸쳐 사용할 수 있는 펌프를 내놓고 있는데, 이는 기존 저진공 펌프와 고진공 펌프의 주요 동작 부분을 일체화해 결합한 변형모델로 볼 수 있으며 그 장점을 극대화하여 사용 가능한 영역은 공정부산물 발생이 문제가 되지 않는 일부 응용 분야에 제한적이다.

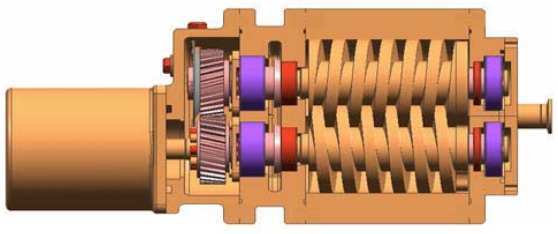
Ⅱ. 건식진공펌프

기체 이송식 펌프 중 저진공 영역에 속하는 대표적인 용적 이송식 펌프는 운동방식에 따라 왕복운동형 펌프(Piston pump)와 회전식펌프(Rotary pump)로 나뉜다. 이들 펌프는 집합적인 기체의 이송을 일으키기 위하여 지속적으로 운동하는 부분(Moving part)과 이 운동하는 부분을 일정한 간극을 유지하며 감싸는 형태의 펌프하우징(Pump housing)으로 구성된다. 저진공 펌프에서는 펌프를 구성하는 펌프내면으로부터 방출되어 나오는 기체에 의한 영향성은 상대적으로 작으므로 이를 무시했을 때 진공펌프의 배기 능력은 무빙파트에 의해 이송되는 기체의 총량에서 위 기술된 간극을 통하여 반대방향으로 역류하는 기체의 총량을 뺀 값에 의해 결정된다. 따라서 기체의 배기를 용이하게 하기 위해서는 배기 흐름에 대해 역류되는 기체 분자의 양이 최소화 되어야 한다. 일반적인 피스톤(Piston) 펌프나 로터리(Rotary) 펌프에서는 펌프하우징과 운동하는 부분 사이에 얇은 유막을 형성함으로서 기체분자의 역류를 최소화 하고 있다. 로터리 펌프의 경우 미네랄오일(mineral oil)을 사용하는 초기 형태에서 시작하여 진공 중 기화되는 미세한 오일 입자에 의해 야기되는 문제를 최소화하기 위해 진공 상태에서의 기화점이 높은 특수 오일을 사용하는 형태로 발전하며 오랜 기간 동안 진공이 필요한 다양한 산업영역에 걸쳐 사용되어 왔다. 실제 사용 환경에서 오일 로터리 펌프의 미네랄오일과 관련된 문제 현상들을 개선하기 위해 PFPE 계열 오일을 사용했을 때 실제로 많은 효과를 얻을 수 있다[5]. 저렴한 가격과 우수한 펌핑 능력에도 불구하고 오일 로터리 펌프는 기화된 미세한 오일입자에 의한 챔버 오염이 상존하는 문제가 있어 왔는데, 이를 방지하기 위해 챔버로 부터 일정량의 가스를 흘려주어 오일의 backstream을 줄여주거나[6-7] 진공펌프와 챔버 사이에 오일트랩(oil trap)을 설치하는 방법 등으로 약점을 보완하여 왔다. 하지만 산업이 발전함에 따라, 반도체, 화학, 의약, 식품, 금속 등 진공의 높은 청결도가 필수적으로 요구되어지는 영역이 증가함에 따라 배기 시 밀봉 및 윤활 기능을 하는 유막 형성이 필요 없는 건식진공펌프가 등장하게 되었다. 건식진공펌프에서는 유막 없이 펌프하우징-운동하는 부분 사이 간극을 통한 기체의 역류를 방지하기 위해 간극을 100 um ~ 200 um로 유지하여야 한다. 이를 위해서는 고정도의 열 해석에 바탕한 설계능력과 고정밀 기계가공이 필수적이고, 냉각시스템(cooling system), 윤활시스템 등 건식진공펌프에 부가되는 Sub-system 최적화 기술이 필요하다. 이로 말미암아 건식진공펌프는 오일 로터리 펌프에 대비하여 높은 가격이 불가피 하여 시장 진입 초기에는 오일에 의한 오염 발생 시 결정적인 영향을 받는 응용 분야에 우선적으로 적용되었는데, 지속적인 기술개발과 대량생산을 통하여 가격이 낮추어 짐에 따라 현재는 그 응용범위가 점차적으로 확대되어 가고 있다.

건식진공펌프는 기능에 따라 백킹(Backing) 펌프와 Blower 펌프로, 형태에 따라 Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)와 같이 루츠(Roots) 펌프와 스크류(Screw) 펌프로 구분된다. 현재까지 루츠펌프의 다양한 변형 모델로 다단 루츠, 다단 Hook & Claw 펌프들과 여러 형태의 스크류 펌프들이 시장에 나와 있는데, 각 사의 고유 설계 방향에 따라 고유의 특



1(a)



1(b)

Figure 1. (a) Multi-stage Roots Dry Vacuum Pump, (b) Screw-type Dry Vacuum Pump

징을 가지며 이 점들은 결과적으로 펌프의 특성을 좌우하게 된다[8-9]. 건식진공펌프 시장은 전 세계적으로 소수의 다국적 기업에 의하여 좌우되고 있는데 영국의 Edwards사, 프랑스의 Adixen(Alcatel)사, 일본의 Ebara사가 다단 루츠 형 혹은 다단 Hook & Claw 건식진공펌프 주력업체에 속하고, 한국의 엘오티베큠사, 일본의 Kashiyama사 독일의 Busch사가 스크류 형 건식진공펌프 전문 업체에 속한다. 2007년 기준으로 볼 때 건식진공펌프의 세계시장 규모는 1조원을 상회하고 국내시장 규모도 3000억 원에 달하는 것으로 추정되고 있다. 현재 300 mm 반도체 양산라인 하나 건설 시 1200~1400 대의 건식진공펌프가 소요되는데 디스플레이, 태양광 등 진공의 높은 청결도가 요구되는 신 산업 영역이 지속적으로 확대되고 있으므로 건식진공펌프 시장규모 및 그 중요성 역시 지속적으로 증대될 것으로 예상된다.

Ⅲ. 스크류 형 건식진공펌프의 특징

Fig. 2는 스크류 형 건식진공펌프의 일반적 구조와 동작 중 펌프 내에 유입된 가스의 움직임을 보여준다. 스크류 형 건식진공펌프는 동일한 형태의 한 쌍의 스크류가 맞물려 있는 구조를 가지는데 하나의 전기모터에 의해 발생되는 구동력이 기어를 통하여 양 스크류에 전달된다. 이 때 스크류-하우징 내면과 스크류-스크류 사이에 형성된 공간(Trapped volume)이 흡입구에서 배기측으로 이동하게 된다. 스크류 양 끝단으로 이동된 배기가스는 펌프하우징에 연결된 배기파이프를 통하여 외부로 배출되게 된다. 일반적으로 건식진공펌프는 공통적으로 루츠 (Claw) 혹은 스크류, 펌프 하우징, 전기모터, 기어 등으로 대변되는 핵심모듈 부분과 냉각시스템, 질소정화시스템, 윤활시스템, 배기시스템, 방음 방진시스템, 전자제어시스템으로 구성되는데

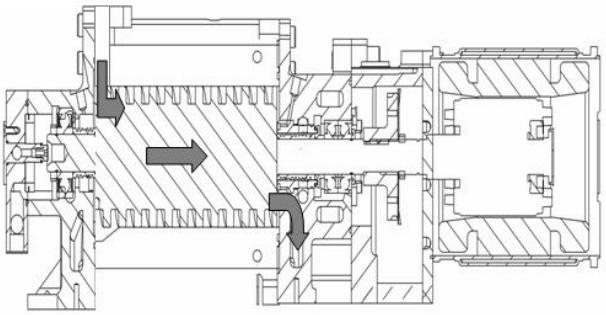


Figure 2. Trivial structure of screw-type dry vacuum pump

다단 루츠 형 건식진공펌프의 경우 400~500 여 개의 부품으로 이루어진다. 스크류 형 건식진공펌프는 기본적으로 회전파트가 한 쌍의 스크류로 이루어지므로 다단 루츠 형 건식진공펌프에 비하여 구조가 간단하고 펌프의 구성 부품 수가 크게 줄어들게 되는 장점이 있다. 또한 펌프 내 흡기에서 배기에 걸쳐 가스가 지나가야 할 경로가 다단루츠 형

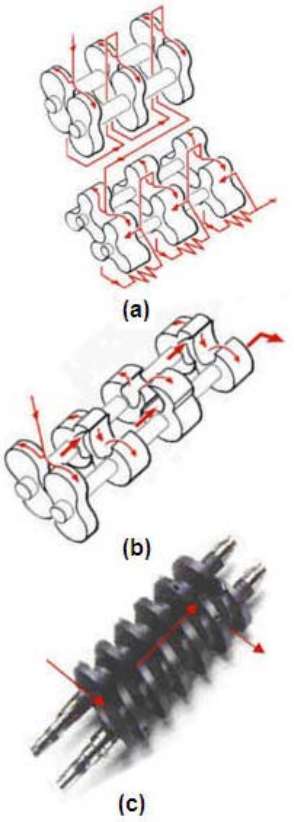


Figure 3. Gas path inside dry vacuum pump during pumping step for (a) Multi-stage type, (b) Root +Hook & Claw, (c) General screw-type

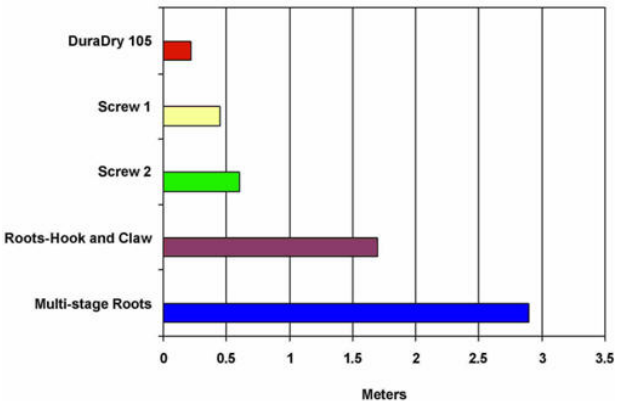


Figure 4. Gas path length comparison in dry vacuum pump depending on the pump type

Table 1. Improvement comparison obtained at the screw-type drypump based on new design concept.

ITEM	Pumping speed (m^3/h)	Power Consumption (kW)	Foot-print (mm x mm)	Sound (dBA)	Vibration (mm/s)	Cooling Water (Liter/min)
Improvement	20 % ↑	46 % ↓	29 % ↓	6 dBA ↓	1.5 mm/s ↓	32 % ↓

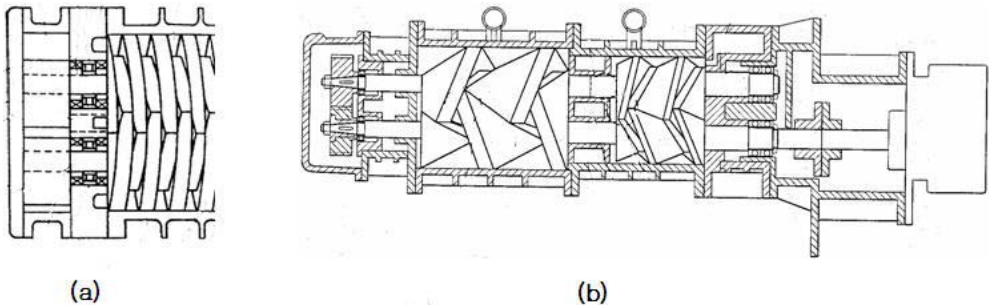


Figure 5. Dry vacuum pump design for introducing built-in compression via two-stage or three-stage structure, (a) Root +Screw type, (b) Screw + Screw type

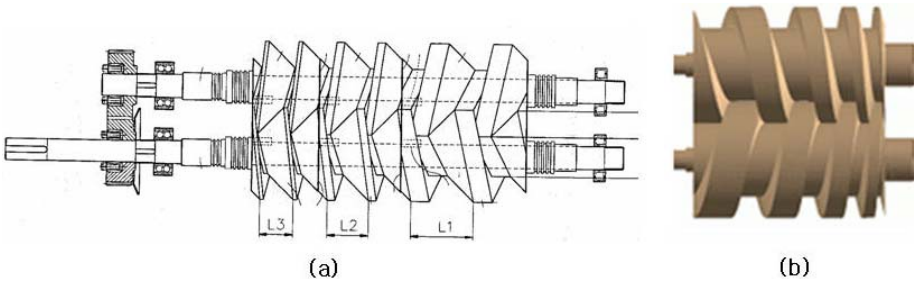


Figure 6. Screw design for introducing built-in volume compression in single-stage dry vacuum pump, (a) Discrete screw pitch, (b) Continuous screw pitch

펌프 대비 상대적으로 짧아, 반도체 CVD공정과 같이 공정 부산물이 많은 응용 분야에 이용 시 펌프 내 공정부산물의 축적이 최소화 될 수 있어 그 장점이 극대화 될 수 있다. Fig. 3과 Fig. 4는 각각 다양한 형태의 다단 루츠 형 펌프와 스크류 형 펌프 내에서의 가스 이동 경로와 가스 이동경로의 길이를 비교하여 보여주고 있다.

다단 루츠 형 펌프에서는 공정부산물 축적에서의 약점을 극복하기 위하여 운용중인 펌프 내부의 온도를 높게 설계하는 방향으로 대응하고 있다. 스크류 형 펌프는 큰 배기속도를 갖는 펌프의 설계에 유리하고 높은 운용온도가 가능하여 다수공정에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점에도 불구하고 스크류 형 진공펌프는 스크류의 높은 회전관성모멘트(rotational inertia moment)에 기인하여 소음, 진동에 상대적으로 취약할 수 있으며, 기본적으로 1단 펌프 구성을 갖게 됨에 따라 결과적으로 압축이 배제된 설계를 취하므로 다단 루츠 형 펌프 대비 높은 소비전력 특성을 보이는 약점을 갖는다. 최근의 스크류 형 펌프에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 새로운 설계적 접근을 적용하고 있는데, Fig. 5와 같이 2단 혹은 3단 펌프 구성을 통해 내부압축을 도입하는 (Multi-stage screw pump) 접근, 혹은 Fig. 6과 같이 기본적인 1단 펌프 구성에 스크류 리드(Lead)의 변화를 줌으로서 동일한 내부압축을 도입하는 효과를 얻을 수 있는 접근을 취하고 있다. 이 두 가지의 경우 모두 소비전력 저감과 작은 펌프사이즈에서 배기 용량을 극대화 할 수 있는 효과를 동시에 얻을 수 있는 장점을 가지는 반면 펌프 제작비용의 증가를 피하기 어렵다.

내부 압축이 있는 진공펌프의 경우 내부 압축 비율의 선택은 소비전력 특성뿐만 아니라 펌프의 전반적인 배기 성능에도 직접적인 영향을 미친다. 진공펌프의 펌핑 스피드는 모든 압력 영역에 걸쳐 항상 일정한 값을 갖는 게 아니라 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 연결된 챔버의 압력에 따라 변하는 배기속력 곡선으로 나타내진다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 내부압축이 없는 설계를 취한 펌프의 경우 대기압에서 최대의 배기속력을 갖는 반면 소비전력은 최소가 되

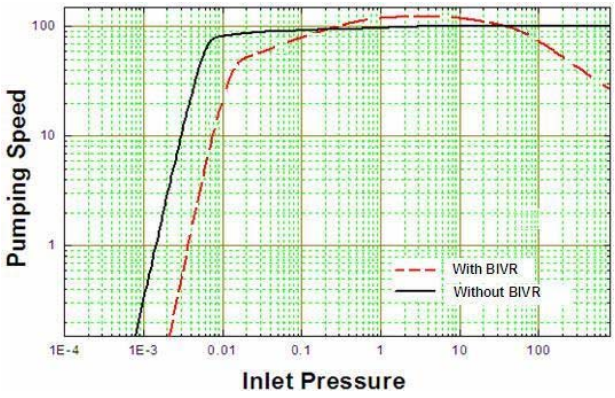


Figure 7. Pressure dependent pumping speed curve of dry vacuum pump with and without built-in volume compression

는 특성을 갖는다. 반면 내부압축이 도입된 펌프 설계의 경우, 대기압에서의 배기속력은 압력이 내려갈수록 점진적으로 증가하여 1~10 torr 사이에서 정점을 보인 후 다시 점차적으로 줄어든다. 내부 압축이 도입된 펌프의 경우 이론적인 계산에 의하면 압축비가 약 2.3 보다 클 경우 펌프의 전력소비는 대기압에서 최대를 기록하고 압력이 낮아짐에 따라 급격히 줄어드는 특성을 보인다[10]. 일반적으로 진공펌프의 특성표에 제시되는 배기속력과 소비전력 값은 각각 최대 정점에서의 배기속력 값과 최종 도달진공도에서의 소비전력 값을 나타낸다. 따라서 특정 진공시스템에 사용할 진공펌프의 용량을 결정할 시에는 해당 챔버에서 진행 할 공정압력 영역에서 충분한 배기용량을 갖는지 고려하여 이를 만족시킬 수 있는 펌핑 시스템을 선택하여야 한다. 더불어 그 공정압력 영역에서 해당 펌프의 소비전력 특성이 병행되어 고려되어야 할 것이다.

Ⅳ. 스크류 형 건식진공펌프의 반도체/디스플레이 공정에의 응용

4.1 반도체/디스플레이 공정에서 요구되는 건식진공펌프의 특성

일반적인 산업용 진공펌프에 비하여 반도체 및 디스플레이 공정에 사용되는 건식진공펌프는 보다 엄밀한 조건을 요구 받고 있다. 가장 중요한 요소는 진공펌프의 신뢰성으로, 반도체 공정 특성 상 공정진행 중 진공펌프의 고장이 발생 할 경우 공정진행 중이던 웨이퍼를 전량 폐기해야하는 경우도 있으므로 펌프의 신뢰성은 아무리 강조하여도 지나침이 없다. 또한 반도체 공정에는 인체에 유해하고 부식성, 반응성이 높은 다수의 가스종이 사용되므로, 이들이 사용 중 배기 경로를 벗어나 외부로 누출되지 않도록 완벽한 밀봉이 되어 있어야 함은 물론 이들 가스들에 대해 충분한 배기용량이 확보되어야 한다. 공정에 따라 일부 경우에는 매우 큰 폭발성을 갖는 가스가 사용되거나 반응 도중 그러한 상황에 놓이는 경우가 있다. 대부분의 반도체 공정에서는 공정부산물의 펌프 내 축적이 심각하다. 이 두 문제에 대한 해결 방안으로 펌프 내로 퍼지(purge) 가스를 공급하여 줌으로서 펌프 내에서의 공정가스 부분압을 낮추어 가스의 급격한 반응과 공정부산물의 펌프 내 축적을 최소화 할 수 있어야 한다. 클린룸(clean room)과 sub-fab으로 구성되는 반도체 생산라인의 특성 상, 사용될 건식진공펌프는 가능하면 작은 부피와 최소의 바닥면적(foot-print)을 가지는 동시에 낮은 소음 및 진동 특성을 갖춰야 할 필요가 있다. 아울러 메인 장비나 상태모니터링 시스템과 연동이 가능하도록 다양한 방식의 통신 인터페이스를 갖추고 있어야 한다.

최근에 강하게 요구되고 있는 스크류 형 펌프의 특성은 배기능력을 희생하지 않으면서 작은 바닥면적이 가능하고, 보다 개선된 소비전력 특성을 가지며 진공펌프 운용비용이 최소화될 수 있을 것으로 요약된다. 각각의 특성들을 실현시키기 위해 채택 하여야 할 주요 설계 변수들은 상호 연관되어 있어, 이들을 하나의 펌프에서 동시에 실현시키기 위해서는 각 설계 변수들을 일정한 선에서 타협적으로 선택하여야 한다. 이것은 해당 펌프가 목표로 하고 있는 응용 분야에 따라 펌프가 가져야 할 특성이 결정되고 그에 따른 설계가 진행되어야 함을 의미한다. 반도체 및 디스플레이 공정을 목표로 한 스크류 형 건식진공펌프에서는 바닥면적 및 소비전력 최소화를 동시에 만족시키기 위해 내부압축이 도입된 하이브리드 스크류로터, 스크류에 모터를 직결하는 설계, 그리고 고효율 모터를 채용하는 방향으로 나아가고 있다. 기존 스크류형 건식진공펌프와 비교하여 새로운 설계에 바탕하여 제작된 스크류형 건식진공펌프에서 얻어진 주요 펌프 성능 개선결과의 한 예를 표 1에 요약하였다[10].

4.2 특정 진공시스템/공정에 적합한 진공펌프의 선택

특정 반도체/디스플레이 공정에 적합한 펌프를 선택하

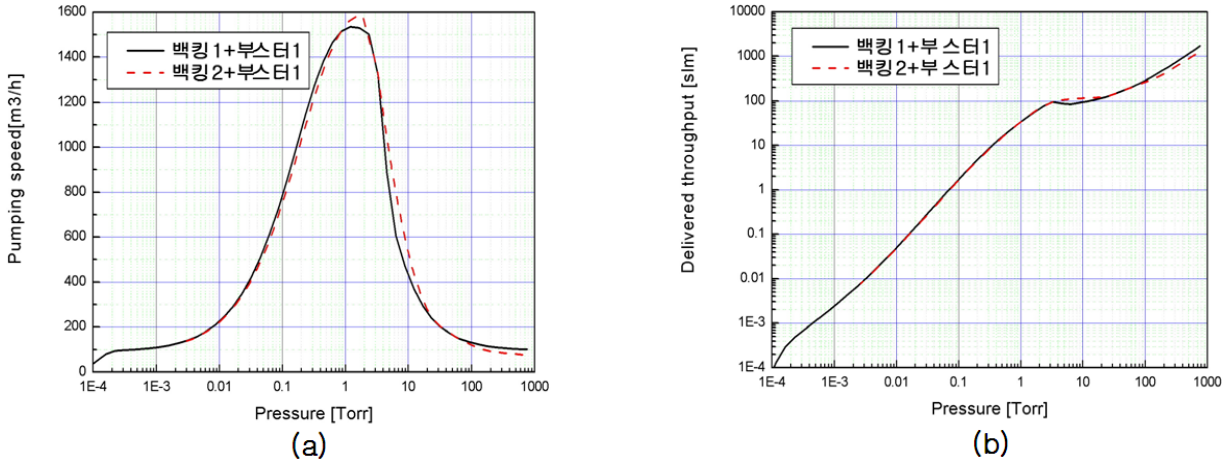


Figure 8. Comparison of pump characteristics with different backing pump characteristics, (a) Pressure−pumping speed, (b) Pressure−throughput

는 과정은 크게 두 가지 단계를 거치게 된다. 우선적으로 검토되어야 할 사항은 해당 공정 및 시스템에 맞는 펌프용량의 결정이다. 이를 위해서는 챔버의 크기, 챔버와 펌프를 연결하는 배기관의 길이, 지름, 꺾인 회수 및 각도를 알고 공정진행과 클리닝 스텝에서 챔버로 투입되는 각각의 가스 종류와 양, 공정스텝 간 챔버 압력이 크게 다를 경우에는 해당 공정스텝 간에 허용되는 시간 간격을 알아야 한다. 이러한 정보에 바탕하여 적합한 펌프용량을 결정하게 된다. 일반적으로 대용량의 건식진공펌프는 펌프의 효율적 구성을 위하여 하나의 백킹펌프(backing pump)에 하나 혹은 두 개의 부스터펌프(booster)가 결합된 단일 배기시스템 형태로 이루어진다. 따라서 배기용량은 백킹펌프와 부스터의 조합에 따라 달라지게 된다. Fig. 8은 동일한 부스터가 100 m^3/h와 120 m^3/h의 배기능력을 갖는 두 개의 다른 백킹펌프에 각각 조합되었을 때 얻어진 압력−배기속력, 압력−배기량(throughput) 관계를 보여주는 그래프로, 두 경우 모두 거의 동등한 결과를 보임을 알 수 있다. 이것은 기존에 사용중인 펌프를 신규 에너지 절약형 펌프로 교체하기 위해 펌프교체 시 공정에 미칠 영향성에 대한 사전 검토를 목적으로 하였다.

추가적으로 검토되어야 할 사항은 공정분석에 바탕한 펌프 세팅(setting) 파라미터 값의 결정과 추가적인 주변기기의 필요성 유무에 대한 검토이다. Fig. 9(a)는 $(CH_3)_3Al$ (TMA)를 이용한 Al_2O_3 공정을 도식화한 다이어그램으로 투입되는 모든 가스와, 각각의 양, 공정 진행시의 화학반응식, 배기시스템 구성 및 발생하는 예상 부산물들을 일목요연하게 정리하여 보여준다. Fig. 9(b)는 Al_2O_3 공정에 사용

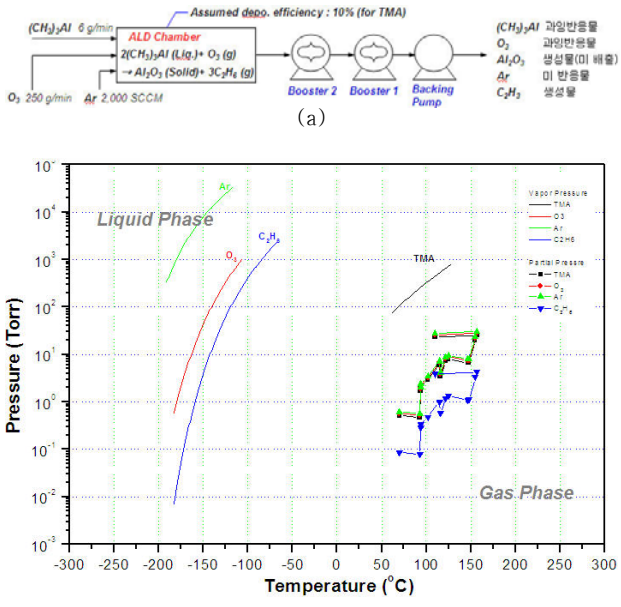


Figure 9. (a) Diagram for Al2O3 process using $(CH_3)_3Al$ (TMA), (b) P−T phase diagram of individual gas engaged in Al_2O_3 process and the status of those gases inside vacuum pump

되는 모든 개별 가스분자들의 온도−압력에 대한 상변이도(Phase diagram)이다. 펌프 내에서 각 가스분자의 온도−부분압 조건이 해당 기체의 P−T 선 왼쪽에 위치하게 되면 그 가스 종은 기체 상태로 펌프로 유입된 경우에도 펌프 내에서 액체상태로 상변이가 일어나 펌프에 문제를 야기하게 된다. 이런 경우 퍼지 가스를 펌프 내로 공급하여 해당가스의 분압을 낮추어 주거나 가스의 온도를 높여서 인위적으로 상변이 곡선 오른쪽에 놓이게 하여 기체상태를 계속 유지케 함으로서 예상되는 문제를 피해갈 수 있으며 이를 위

한 부가 장치가 펌프에 추가될 필요가 있다. 위 언급된 Al_2O_3 공정에 대한 분석 결과는 펌프 내에서 모든 개별 가스들이 기체상태를 유지하는 것으로 판단되어 추가적인 부가장치가 필요치 않음을 알 수 있다.

4.3 펌프 내 공정부산물 축적 문제에 대한 대응 방안

실제의 반도체 공정에서 일어나는 화학반응 메커니즘은 대단히 복잡하여 이론적 접근만으로는 실제 현상에 대한 정확한 설명이 불가능 하다. Fig. 9(a) 다이어그램에서는 펌프 내로 유입되는 모든 가스 및 공정부산물들이 기체 상태임을 가정하였다. 그러나 실제 상황에서는 대부분이 가스상태로 유입되지만 일부 파우더 상태 혹은 아주 작은 결정화 핵(crystal seed) 상태의 물질이 섞여서 펌프 내로 유입되게 된다. 공정챔버 내 기판 표면 근처에서 원하는 반응이 일어날 경우 생성된 Al_2O_3 분자들은 웨이퍼 상에 박막 형태로 증착될 확률이 높다. 하지만 플라즈마에 의하여 챔버 내 공간에 존재하는 TMA 분자들에 충분한 에너지가 전달될 수 있는 상황을 고려했을 때, 웨이퍼 표면에서 떨어진 공간에서 진행된 반응 혹은 불완전한 반응의 결과물들은 챔버 내벽에 쌓이거나 챔버를 빠져 나와 펌프 내로 고체 상태로 유입될 확률이 훨씬 크다. 또한 미 반응 상태로 펌프에 유입된 소스 가스분자들도 펌프 내면을 구성하는 뜨거운 금속 표면에 닿게 되면 금속 표면이 화학반응에 대한 촉매 역할을 하게 되므로 반응에 필요한 문턱에너지(threshold energy)가 낮아지게 되어, 이상적인 공간에서의 상태를 가정하여 얻어진 상변이 특성과는 다른 거동을 하게 된다. 실제로 일부 공정에서는 이상적인 상태를 전제로 예상된 결과와는 상이하게, 펌프 내부 공정부산물 축적이 심각하여 축적된 공정부산물들이 건식진공펌프의 로터-하우징 충돌의 주요 요인이 되어 공정 중 갑작스러운 펌프 고장의 원인이 되고 있다. Fig. 10은 PE-TEOS 공정에서 파우더 트랩이 부가되지 않은 상태에서 운용 중 고장난 펌프의 분해 후 펌프 내부를 살펴본 사진으로 진공펌프 모든 부위에 다량의 실리콘옥사이드 공정부산물이 축적되어 있는 상태를 보여준다. 공정부산물 축적에 기인한 문제에 대한 가장 효과적인 해결 방안으로는 파우더 트랩의 사용을 들 수 있다. 반도체/디스플레이 공정에서 사용하는 트랩은 해당 공정에서 문제를 야기하는 주요 공정부산물 저감에 적합하도록 구조, 방식, 설치 위치, 온도 설정 등이 최적

Figure 10. Disassembled parts of screw-type dry vacuum pump without using powder trap, failed due to by-product contamination in a semiconductor process

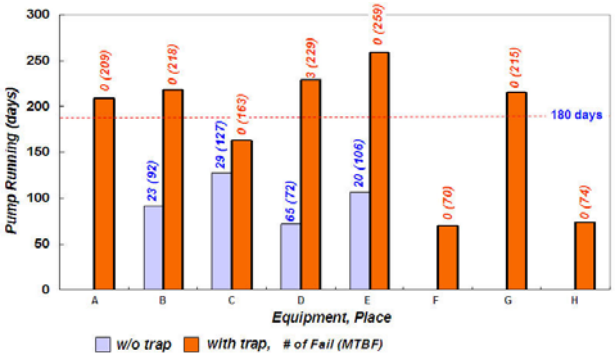


Figure 11. Data showing the improvement of pump lifetime after introducing powder trap attached dry vacuum pump in a semiconductor process

화 되어 적용되어야 그 효과를 극대화 할 수 있다. Fig. 11은 여러 고객사의 동일한 공정에 적용하여 얻어진 펌프 문제발생 건수와 그 때의 펌프 MTBF 데이터를 보여주고 있는데 트랩을 도입함으로서 얻어진 개선 효과를 극명하게 보여주고 있다.

V. 스크류 형 건식진공펌프의 향후 발전방향

반도체 소자 크기의 축소에 따라 소자 선폭 및 막 두께의 감소는 지속적으로 이루어 질 것으로 예상된다. 이러한 환경에서 소자의 특성이 원활히 발휘되기 위해서는 소자 구조 설계의 변화뿐 만 아니라, 소자를 구성하는 기존 물질의 일부도 새로운 물질로 바뀌어져야 한다. 대표적인 예가 65 nm 공정의 도입에 수반한 SiO_2 막의 ZrO_2 막으로의 대체를 들 수 있다. 새로운 물질의 도입은 필연적으로 새로운

공정의 도입을 전제로 하므로 도입 초기에는 공정조건 최적화 작업뿐만 아니라 진공배기 시스템에도 해결하여 할 많은 난제들을 던져준다.

향후 나아가야 할 스크류 형 건식진공펌프의 발전방향은 크게 두 방향으로 정리될 수 있다. 우선 펌프 내 공정부산물 축적에 대한 강한 내성을 갖는 강점에도 불구하고 상대적으로 큰 소비전력을 필요로 하는 약점을 보다 더 개선하기 위한 지속적인 노력이 있어야 할 것이다. 이를 위해서는 기계 설계적인 관점에서의 노력과 전기모터의 효율을 개선 적용하는 노력이 두 방향에서 동시에 진행되어야 할 것으로 판단된다. 현재 디스플레이 산업에서 요구되는 대용량 건식진공펌프에 대한 수요는 2012년 이후 도입될 것으로 예정되어 있는 450 mm 웨이퍼 공정의 도입을 앞두고 반도체 산업에서도 본격화될 것으로 예상된다. 450 mm 웨이퍼 공정의 도입은 소자 생산성의 획기적 발전을 의미하지만, 공정 중 예기치 못한 진공펌프의 고장이 발생할 경우 그에 따른 손실은 비례하여 커질 것은 자명하다.

반도체 메인공정 장비 분야에서는 실시간 공정 진단과 제어를 가능케 하여 수율과 생산성을 극대화하기 위한 많은 노력이 진행 중이다. 대표적인 방안으로 APC(Advanced Process Control)와 FDC(Fault Detection & Classification) 기술을 꼽을 수 있다. 이미 일부 회사에서는 부분적으로 이들 기술들을 공정에 적용하는 예가 보고되고 있지만 완성도 높은 기술의 본격 적용은 450 mm 공정을 목표로 하여 진행되고 있다. 동일한 개념의 실시간 진공펌프 상태 진단과 이것을 바탕으로 한 실시간 제어 기술의 개발 및 적용이 메인공정 장비의 발전에 맞추어 배기시스템에서도 진행될 필요가 있다. 건식진공펌프를 주의 깊게 관찰하면 많은 경우 고장 발생 전에 그 징후가 나타나는 것으로 알려졌다. 한국표준과학연구원 진공기술센터의 초기 연구 결과에 의하면 그 징후의 형태와 펌프 고장 전 알 수 있는 징후의 발생 시점은 펌프 모델에 따라 다른 것으로 알려져 있다[11]. 이에 대한 연구는 일부 건식진공펌프 제조사에서 자사 펌프를 이용하여 개별적으로 진행이 시작되고 있는 단계이다.

Fig. 12는 단일 건식진공펌프에서 현재 쉽게 측정이 가능한 진공펌프의 특성을 대변하는 변수들로 펌프의 고장이 임박했을 때 그 값이 눈에 띄게 달라질 수 있는 항목들의 일부분이다. 이들 변수들을 실시간 모니터링 하여 특정한 개별 변수 혹은 한 개 이상의 특정변수가 correlate된 새로운 변수를 설정한 후, 고장 전후 각 변수들의 특이 변동사

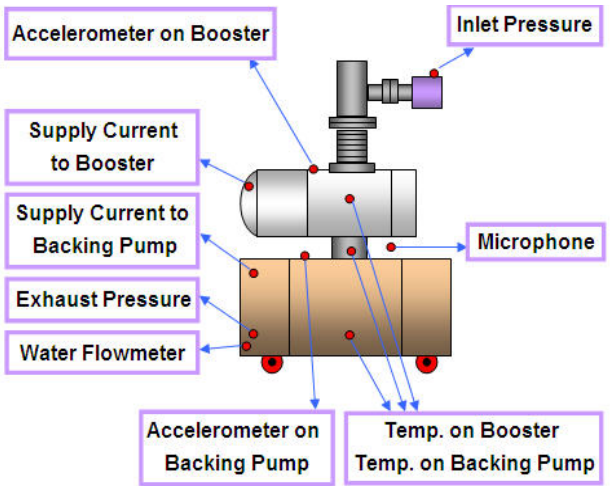


Figure 12. Easily-measurable pump characteristic parameters that could be an possible indicator before pump failure[11].

항을 찾아내고 이를 펌프 고장 유형별로 체계화하여 이용할 수 있다면 예상치 못한 펌프 고장에 기인한 웨이퍼 손실 문제를 최소화 할 수 있을 것이다. 더 나아가, 300 mm 웨이퍼 양산라인 한 개당 1000 대 이상의 건식진공펌프가 사용되므로, 이들 개별 펌프들의 선 진단 예측 기능을 하나로 묶어 전체 펌프의 상태들을 종합적으로 실시간 모니터링 하여 대처할 수 있는 체계적인 PMS(Pump Management System)의 구축이 필요할 것이고 메인 공정 장비 모니터링 시스템과의 연계도 필요할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문 내용 중 신 개념 설계를 통하여 얻어진 스크류형 건식진공펌프 주요 펌프 성능 개선결과는 산업자원부 주관 성장동력기술개발사업 수행을 통하여 얻어진 결과이다.

참고문헌

[1] 국제 표준화기구(International Standard Organization)와 미국진공학회 (American Vacuum Society)의 기준에 따른 정의.

[2] 정광화, 한국진공학회지 **1**, 400 (1992).

[3] ISO 3529 II, "Vacuum Technology: Vocabulary Part II".

[4] 김홍배, 손상희, *진공의 기초* (전자재료사, 서울, 2002), pp. 29-34.
[5] 주장헌, *진공기술 실무* (홍릉과학출판사, 서울, 2004), pp. 48-56.
[6] L. Laurenson, S. Hickman, R. G. Livesey, J. Vac. Sci. Tech. **A6**(2), 238 (1988).
[7] L. Holland, Vacuum **20**(5), 175 (1970)
[8] P. Duval, *High Vacuum Production in the Microelectronics Industry* (Elsevier, New York, 1988), pp. 103.
[9] H. Wycliffe, J. Vac. Sci. Tech. **A5**(4), 2608 (1987).
[10] (주)엘오티베큠 기술연구소 기술보고서, 비공개 자료.
[11] D. Sung, J. Kim, W. Jung, S. Lee, W. Cheung, J. Lim, and K. Chung, J. Korean Vac. Soc. **15**(4), 338 (2006); 임종연, 한국표준과학연구원 진공기술센터, unpublished material.

≪Research Paper≫ Journal of the Korean Vacuum Society Vol.17 No.4, July 2008, pp.292~301

Screw-type Dry Vacuum Pump Technology and Application in Semiconductor Process

Myungkeun Noh*, Tae-Kyoung Hwang, Jea Woo Park

LOT vacuum Co., Ltd., Anseong 456-370

(Received July 3, 2008, Revised July 21, 2008, Accepted July 22, 2008)

As the industry requiring clean vacuum condition like semiconductor and display manufacturing expands, importance of dry vacuum pumps has been increased. Screw-type dry vacuum pump, occupying major share with multi-stage roots pump in dry-pump market, has big strength specially in harsh application area accompanying serious by-product accumulation. Recently, development in screw-type pump has been focused on improving energy efficiency. In this article, technology of screw-type dry vacuum pump is reviewed and the requirement for actual industrial application is considered. In addition, the expected evolution for screw-type dry pump in near future is also described.

Keywords : Drypump, Vacuum pump, Screw-type vacuum pump, Screw-rotor, Backing pump

* [E-mail] nmk@lotvacuum.com