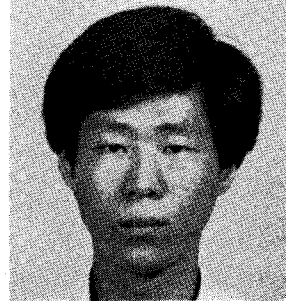


# 尖端技術 어디까지 왔나

## 드라이眞空펌프의 開發現況과 展望



徐 泰 雪  
〈KIET 研究員〉

### 目 次

- I. 머리말
- II. 오일프리 스크류형 眞空펌프
- III. 루트형 드라이眞空펌프
- IV. 直齒型 드라이眞空펌프
- V. 스크롤형 드라이眞空펌프
- VI. 非機械式 드라이眞空펌프
- VII. 드라이眞空펌프의 課題
- VIII. 맺는말

〈고딕은 이번호, 명조는 다음호〉

### I. 머리말

眞空펌프는 1970년대 후반에 급속히 발전하기 시작한 半導體産業에 힘입어 현저한 技術發展이 이루어졌다. 대표적인 眞空펌프로는 油回轉펌프, 油擴散펌프, 터보分子펌프, 크라이오펌프, 스퍼터이온펌프 등을 들 수 있다.

최근 眞空펌프 분야에서 주목받고 있는 것은 오일프리 (oil-free) 또는 드라이 (dry) 眞空펌프이다. 드라이眞空 펌프는 실(seal) 및 潤滑을 위한 기름을 사용하지 않으면서 油回轉펌프에 필적하는 排氣性能을 달성한 새로운 方式의 眞空펌프이다.

처음에 드라이眞空펌프는 半導體製造 프로

세스 중 腐蝕性 가스나 反應性 物質을 다량으로 배기하는 드라이에칭裝置와 CVD裝置에서 사용하기 위하여 개발되었다. 이들 프로세스에서는 기존의 油回轉펌프를 사용할 경우, 기름의 劣化 및 反應生成物의 퇴적 때문에 펌프를 자주 정지시켜야 했다. 이 문제를 해결하기 위하여 化學的으로 안정한 特殊合成油를 사용하기도 하고 오일필터유닛을 사용하기도 하지만 여전히 메인テナンス 回數가 잦고 코스트面에서도 문제가 있다.

드라이펌프는 이러한 문제를 해결하기 위해서 개발되었다. 이 펌프는 기름을 사용하지 않기 때문에 기름의 劣化에 의한 피해가 없고 反應生成物이 퇴적하기 어려운 구조를 취함으로써 장기간 안정한 운전이 가능하다.

한편 4M DRAM 이상의 超高集積度 半導體 칩의 製造에는 프로세스의 울트라크린化가 불가결한 요소이다. 프로세스의 울트라크린化라는 것은 固形의 먼지는 물론 각종 프로세스에 반드시 필요한 材料와 가스 이외의 불순물을 프로세스챔버內에서 극력 배제하는 것이다. 이것을 달성하기 위해 排氣系에서는 펌프로부터의 기름 역류에 의한 오염을 강력히 배제하여야 한다.

이미 각종 프로세스의 메인펌프로서 사용하고 있는 高眞空펌프 분야에서는 油擴散펌프 및 루트펌프에서 터보分子펌프 및 크라이오펌프

로 교체하여 오일프리화가 크게 진행되었다. 그러나 보조펌프나 예비펌프로서는 油回轉펌프가 계속 사용되고 있어서 완전한 오일프리배氣系를 얻기 위해서는 이들도 드라이펌프로 교체해 주어야 한다.

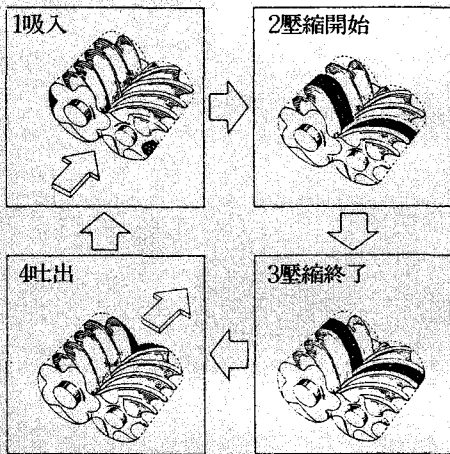
최근에 개발된 드라이펌프로 대표적인 것은 스크류형, 루트형, 直齒型 및 스크롤형이 있다. 本稿에서는 이들의 構造와 特性에 대해 살펴보고 드라이펌프의 技術展望에 대해서 서술하기로 한다.

## II. 오일프리 스크류형 眞空펌프

### 1. 스크류형 流體機械의 特徵

스크류형 流體機械는 <圖1>에 나타난 것처럼 한 쌍의 나선형을 갖는 압수 로터가 서로 맞물려 회전할 때 케이싱과 로터 홈간에 형성되는 공간에 갇힌 기체가 압축, 배기되는 원리를 이용한 것이다. 이때 로터와 케이싱 및 로터

<圖 1> 스크류형 流體機械 作動原理



와 로터 사이에는 間隙이 존재하여 高壓部에서 低壓部로 氣體가 누설되는데, 이 누설량이 機械性能을 좌우하는 가장 중요한 요인이다. 스크류형 流體機械에는 油噴射式과 오일프리식의 두 종류가 있는데, 油噴射式은 스크류室內에 潤滑유를 주입하여 이 間隙에 油膜을 형성시킴으로써 氣體의 누설을 방지함과 아울러 壓縮中의 氣體를 냉각시켜 압축효율을 높인다.

이에 대해 오일프리식은 스크류室內에 潤滑유

를 넣지 않으므로 間隙이 여전히 존재한다. 따라서 로터를 고속으로 회전시킴으로써 氣體의 누설을 방지할 수 밖에 없다. 이 때문에 오일프리식은 油噴射式보다 큰 容量에 사용된다.

스크류형 流體機械는 처음에 壓縮機로 사용되었는데, 이것을 眞空펌프에 적용하기 위해서는 여러가지 다른 要求特性을 고려해야 한다.

壓縮機의 주요 과제는 壓縮效率의 向上이고, 潤滑유체는 粘性流의 형태이다. 일반적으로 效率 및 신뢰성·안정성 등을 고려하면 10~20 정도의 압축비 이하가 바람직하다. 이에 대해 眞空펌프에서는  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  Torr의 도달압력을 얻어야 하므로  $10^5$ 을 넘는 압축비가 요구된다. 이러한 높은 壓縮比를 얻기 위해서는 氣體의 누설(역류)양을 최대한 감소시킬 수 있는 스크류로터의 개발이 이루어져야 한다.

또 다른 문제는 氣體의 온도상승에 의한 熱變形이다. 豫備眞空펌프로 사용되는 스크류형 드라이眞空펌프는 氣體의 熱에너지가 크며, 로터와 같이 외부로부터 냉각수단을 설치하기 어려운 부품의 열변형을 무시할 수 없는 문제이다.

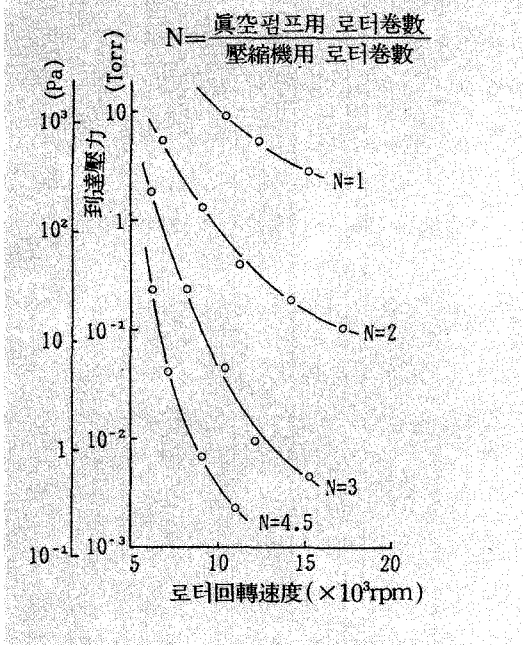
### 2. 오일프리 스크류형 眞空펌프의 設計

오일프리 스크류형 壓縮機를 그대로 眞空펌프로 이용할 수도 있지만 1Torr 정도의 도달압력밖에 얻을 수 없기 때문에 요구되는 진공도를 얻기 위해서는 多段으로 하여 사용해야 한다. 이렇게 되면 펌프의 구조가 복잡해져 제작비가 많이 들어서 바람직하지 못하다.

바람직한 방법으로는 로터의 길이를 길게 하여 나선형의 卷數를 많게 하는 것이다. 로터의 나선형 卷數를 변화시켰을 때의 펌프 特性을 <圖2>에 나타내었다. 이것은 壓縮機 로터의 卷數를 기준으로 하여 실험한 것인데 로터 卷數가 펌프 特性에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

이와 같이 스크류로터의 卷數를 많게 하면 壓縮室의 수가 많아져 내부의 누설량이 적어지고 眞空펌프로서의 特性은 좋아지지만 펌프의 가격이 高價로되고 또 로터 길이방향의 축진동

〈圖 2〉 로터卷數와 펌프特性



의 문제가 발생한다. 따라서 로터의 卷數는 펌프 特性, 信賴性, 價格 등을 신중히 고려하여 결정하여야 한다.

오일프리 스크류형 眞空펌프에서는 熱變形을 고려하여 스크류의 齒形을 설계하여야 한다. 스크류형 眞空펌프에서는 間隙을 0.05~0.1mm로 해야만 하는데 로터의 온도가 300℃에 달하게 되면 0.2~0.3mm의 열변형이 생긴다. 따라서 미리 로터의 熱變形을 고려하여 로터의 齒形 및 로터절삭공구를 설계해야 한다. 이렇게 하면 熱變形을 고려하지 않은 경우와 비교해서 운전중의 로터間 間隙을 절반 이하로 할 수 있기 때문에 眞空펌프의 性能과 신뢰성을 크게 향상시키는 결과를 가져온다.

한편 어떤 경우에는 오히려 로터의 온도가 상승되는 것이 유리하게 작용한다. 예를 들면 低壓 CVD 등의 반도체 제조장치에 사용하는 펌프에서는 反應性 生成物이 펌프 内部에 부착하여 로터가 고착됨으로써 운전을 못하는 경우가 있는데 로터의 온도가 높으면 反應生成物이 부착하기 어렵게 되어 펌프의 신뢰성이 높아지는 효과를 얻을 수 있다.

### 3. 스크류형 眞空펌프의 性能

스크류형 眞空펌프의 設計排氣速度는 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$S_d = C \cdot D^2 \cdot L \cdot N / 60$$

C : 로터齒形形狀에 따라 결정되는 定數

D : 로터直徑(mm)

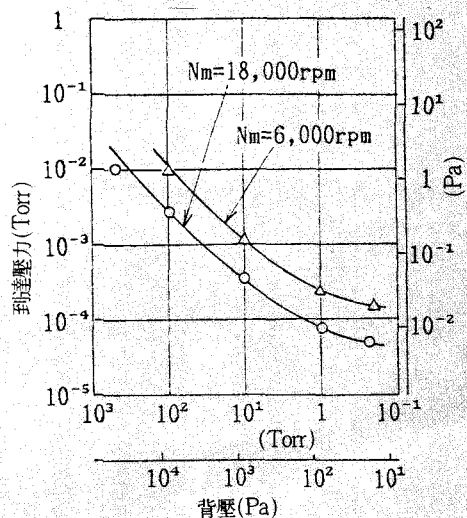
L : 壓縮室을 형성하는 로터길이(mm)

N : 로터회전속도(rpm)

위의 式에 따르면 排氣速度를 크게 하기 위해서는 로터直徑을 크게 하거나 회전속도를 높이면 된다는 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 수치를 무한정 크게 할 수는 없고 보통 排氣速度 10<sup>3</sup>~10<sup>5</sup> l/min이 적합한 수준이다.

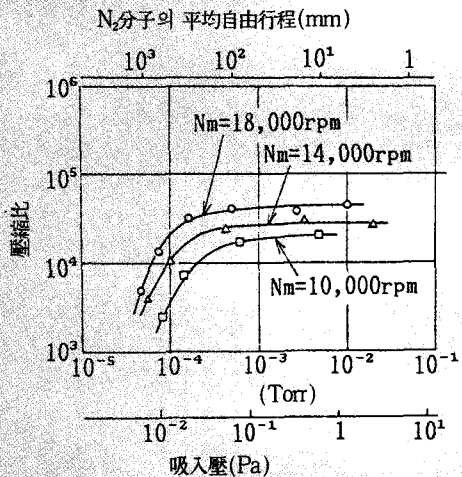
터보分子펌프나 크라이오펌프 등의 高眞空 펌프에서는 壓力이 높아지면 性能이 劣化되는 사용한계에 도달하게 되는 데 반해 스크류형 眞空펌프에서는 壓力이 낮은 쪽으로 사용한계가 존재한다. 〈圖3〉을 보면 스크류형 眞空펌프의 背壓를 낮추면 처음에는 到達壓力도 이에 비례하여 낮아지지만 얼마 후에는 到達壓力의 變化가 둔화되어 나중에는 거의 변하지 않게 된다.

〈圖 3〉 背壓과 到達壓力의 관계



〈圖4〉는 흡입압력과 최대압축비의 관계를 나타내는데 최대 압축비는 10<sup>4</sup>과 10<sup>5</sup>사이임

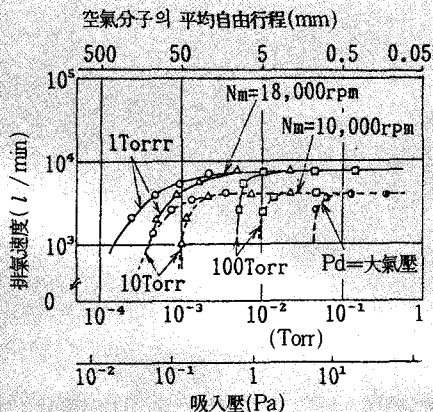
〈圖 4〉 吸入壓과 壓縮比의 관계



알 수 있다. 루트펌프의 최대압축비가  $10^2$  정도인 것에 비하면 스크류형 眞空펌프는 一般當 압축비가 커서 간단하게 一般으로 목적하는 압축비를 얻을 수 있다.

한편 排氣速度特性은 〈圖5〉에 나타난 것과 같다. 吸入壓이  $2 \times 10^{-3}$  Torr에서 空氣의 分子平均自由行程은 약 25mm가 되는데 이것은 보통의 스크류齒輪의 폭과 깊이(약 20mm)보다 약간 큰 값이다. 分子平均自由行程이 壓縮室의 치수보다 크면 氣體分子 捕集確率이 낮아져 펌프特性이 악화된다. 따라서 吸入力이  $2 \times 10^{-3}$  Torr 보다 높은 곳에서는 펌프의 성능은 기체의 내부누설에 의해 지배되고 그보다 낮은 곳에서는 分子平均自由行程에 의한 영향이 크다.

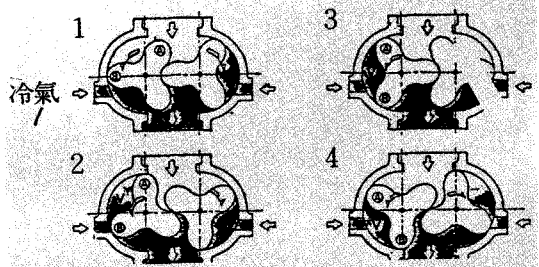
〈圖 5〉 排氣速度와 吸入壓의 관계



### Ⅲ. 루트型 드라이眞空펌프

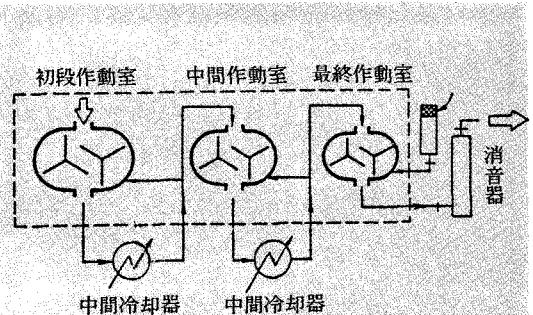
메커니컬 부스터(mechanical booster)라고도 하는 루트型 眞空펌프는 〈圖6〉에 나타난 것처럼 두 개의 3로브(three lobe)단면을 갖는 로터가 상호간에 접촉없이 역방향으로 회전함으로써 氣體를 吸氣口에서 排氣口로 송출시키도록 되어 있다. 루트펌프는 一般에서 낮은 眞空度밖에 얻을 수 없기 때문에 高眞空을 얻기 위해서는 多段을 취해야 한다. 예를 들어 1000Pa 정도의 壓力을 얻기 위해서는 3대의 眞空펌프를 직렬로 설치하여야 한다. 그러나 설치면적이 커지고 모터도 3개가 필요하기 때문에 運轉管理가 복잡해진다. 최근에는 眞空펌프 2段 또

〈圖 6〉 루트펌프의 原理



는 3段을 一體化하여 모터 1대로 가동할 수 있는 콤팩트한 眞空펌프가 개발되어 이러한 문제를 다소 해결하였다.

3段의 루트眞空펌프 구조를 보면 3개의 作動室이 있고 그 내부에 각각 3로브 로터가 한 쌍씩 설치되어 있다. (〈圖7〉 참조). 이 시스템에



서는 안전하게 높은 壓力比를 얻기 위해서 逆流冷却方式으로 압축하도록 되어 있다. 각 作動室간에는 중간 냉각기가 접속되어 있는데 初段作動室과 中間作動室은 이 냉각기에 의해서 냉각된 冷氣에 의해서 압축된다. 最終作動室에서는 大氣를 빨아들여 압축하든가 또는 大氣의 混入이 어려울 경우는 初段 및 中間作動室과 마찬가지로 냉각기를 접속시켜 압축하는 것도 가능하다. <圖7>의 파선내부가 一體化되어 있기 때문에 이 펌프시스템은 매우 콤팩트하다.

逆流冷却方式을 취한 루트형 眞空펌프는 吸入壓力에 제한을 받지 않아서 到達壓力에서 大氣壓까지 광범위하게 운전할 수 있다. 또 냉각된 가스는 체적이 감소되기 때문에 냉각이 없는 경우에 비해서 動力消耗가 적다. 다른 特徵으로는 作動室內에 기계적 접촉이 없어 내부마모가 없고 기름을 전혀 넣지않기 때문에 장기간 연속운전을 하여도 性能의 劣化가 없다.

루트형 드라이眞空펌프의 到達壓力은 펌프의 크기에 비례한다. <表1>에 到達壓力과 排氣의 크기에 비례한다. <表1>에 到達壓力과 排氣

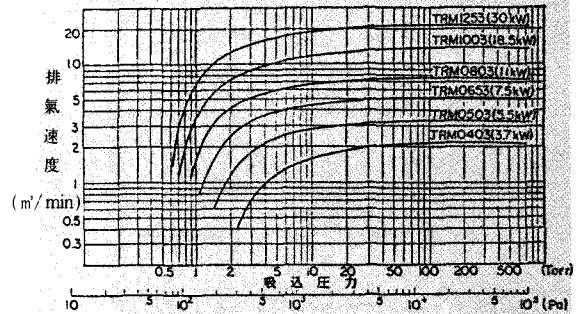
<表 1> 到達壓力과 排氣速度

區 分	3段 眞空펌프	2段 眞空펌프
到達壓力範圍	66~200Pa (0.5~1.5Torr)	1.3~2.6KPa (10~20Torr)
排氣速度範圍	2~21m <sup>3</sup> /min	1.8~13m <sup>3</sup> /min

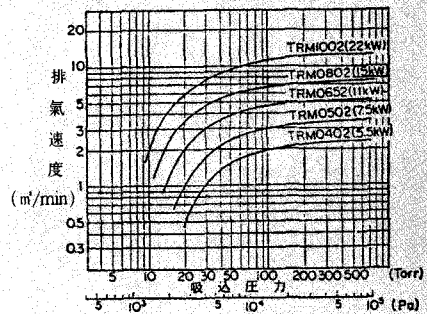
速度의 범위를 나타내었다.

<圖8>과 <圖9>는 각각 3段 및 2段의 排氣特性을 나타낸다. 動力特性은 각 段의 移動容積의 선정에 따라 펌프의 吸入壓力에 관계없이 대체로 일정하다. 즉 到達壓力에서의 운전에서

<圖 8> 3段펌프의 性能



<圖 9> 2段펌프의 性能



大氣壓 근방의 운전까지 動力의 소비량이 변하지 않기 때문에 이 壓力에 관계없이 연속운전이 가능하다.

<表1>의 到達壓力보다 더 큰 容量과 더 높은 眞空度를 얻으려면 보통 3段 眞空펌프에 메커니컬 부스터를 上流側에 직렬로 설치한다. 또 메커니컬 부스터를 직렬로 2대 설치하면 1~10<sup>-2</sup>Torr의 高眞空도 얻을 수 있다. <계속>

## 국내 미생물 국제기탁기관 및 수수료

기탁기관명	취급 미생물	수수료	주소
한국중균협회 부설 한국미생물보존센터	세균, 진균, 플라미드 바이러스 등	원기탁료: 60만 원 분양료: 5만 원	서울시 서대문구 신촌동 134
한국과학기술연구원 부설 유전공학센터	세균, 진균, 플라미드 바이러스, 동·식물 주세포 등	원기탁료: 60만 원 분양료: 5만 원	서울시 성북구 하월곡동 39-2