

# 진공 기술

II권

 노하우 북

2부



## 차례

## 진공 기술과 노하우

## 1 진공 기술 소개

<b>1.1 일반</b>	<b>9</b>
1.1.1 진공 - 정의	9
1.1.2 진공의 개요	9
<b>1.2 기초</b>	<b>9</b>
1.2.1 진공의 정의	9
1.2.2 일반 기체 방정식	11
1.2.3 분자 수밀도	12
1.2.4 열속도	12
1.2.5 평균 자유 행로	12
1.2.6 흐름의 유형	14
1.2.7 pV 처리량	15
1.2.8 전도도	16
<b>1.3 실제 진공 시스템의 영향</b>	<b>18</b>
1.3.1 오염	18
1.3.2 응축과 기화	18
1.3.3 탈리, 확산, 침투 및 누출	19
1.3.4 베이크 아웃	20
1.3.5 잔류 기체 구성	20
1.3.6 환기	20

## 2 기본 연산

<b>2.1 일반</b>	<b>22</b>
<b>2.2 연산</b>	<b>22</b>
2.2.1 루츠 펌핑 스테이션 치수 측정	22
2.2.2 콘덴서 모드	25
2.2.3 터보 펌핑 스테이션	27
2.2.3.1 터보 펌핑 스테이션을 사용하여 $10^{-8}$ hPa로 용기 비우기	27
2.2.3.2 터보 분자 펌프로 높은 기체 부하 펌핑	29
<b>2.3 배관 전도성</b>	<b>30</b>
2.3.1 총류 전도도	30
2.3.2 분자 전도도	30

## 3 진공의 기계적 구성품

<b>3.1 일반</b>	<b>32</b>
<b>3.2 물질</b>	<b>32</b>
3.2.1 금속재	33
3.2.1.1 스테인레스강	33
3.2.1.2 탄소강	36
3.2.1.3 알루미늄	36
3.2.2 실링재	36
3.2.2.1 엘라스토머 실	36
3.2.2.2 금속 실	37

# 차례

<b>3.3 연결</b>	<b>38</b>
3.3.1 비분리 연결	38
3.3.1.1 용접	38
3.3.1.2 경납땜, 용단, 증착	39
3.3.2 분리 플랜지 연결	40
3.3.2.1 오링 실과 홈	40
3.3.2.2 ISO-KF 플랜지	41
3.3.2.3 ISO-K/ISO-F 플랜지	42
3.3.2.4 CF 플랜지	43
3.3.2.5 COF 플랜지	44
3.3.2.6 기타 플랜지 표준	44
3.3.2.7 나사	44
<b>3.4 진공실</b>	<b>47</b>
3.4.1 처리 - 표면	47
3.4.2 처리 - 청소	48
<b>3.5 구성품과 피드스루</b>	<b>49</b>
3.5.1 호스와 신축성 커넥터	49
3.5.2 뷰 포트	49
3.5.3 전기 피드스루	49
3.5.4 기타 피드스루	50
<b>3.6 밸브</b>	<b>50</b>
3.6.1 밸브 제어	50
3.6.2 앵글 밸브	51
3.6.3 인라인 밸브와 다이어프램 밸브	51
3.6.4 게이트 밸브	52
3.6.5 버터플라이 밸브와 볼 밸브	52
3.6.6 기체 주입 밸브와 기체 제어 밸브	52
<b>3.7 조작기와 기계적 피드스루</b>	<b>52</b>
3.7.1 작동 원리	53
3.7.1.1 다이어프램 벨로우즈 밀봉 평행이동	53
3.7.1.2 벨로우즈 밀봉 회전	53
3.7.1.3 자기 결합 회전과 평행이동	54
3.7.1.4 밀봉 엘라스토머 회전과 평행이동	54
3.7.1.5 펌핑 공간이 있는 슬라이딩 가스켓 경유 회전	54
3.7.2 정확도, 반복적 정밀도, 해상도	54
3.7.3 기술 장비와 특성	55
3.7.3.1 Z-축 정밀 조작기의 설계 특징	55
3.7.3.2 XY-축 정밀 조작기의 설계 특징	56
<b>4 진공 생성</b>	
<b>4.1 진공 펌프 - 작동 원리와 특성</b>	<b>58</b>
4.1.1 진공 펌프의 분류	58
4.1.2 펌프 속도와 처리량	59
4.1.3 도달 압력과 기본 압력	59
4.1.4 압축비	59
4.1.5 직렬로 연결된 펌핑 단계의 펌프 속도	59
4.1.6 기체 밸러스트	59
4.1.7 수증기 허용치/수증기 용량	60
4.1.8 실링 가스	60

## 차례

<b>4.2 회전 날개 진공 펌프</b>	<b>60</b>
4.2.1 설계/작동 원리	60
4.2.2 어플리케이션	61
4.2.3 포트폴리오 개요	61
4.2.3.1 단일 단계 회전 날개 진공 펌프	62
4.2.3.2 2단계 회전 날개 진공 펌프	63
4.2.3.3 작동 유체 선택	66
4.2.3.4 부속품	66
<b>4.3 다이어프램 진공 펌프</b>	<b>68</b>
4.3.1 설계/작동 원리	68
4.3.2 어플리케이션	68
4.3.3 포트폴리오 개요	68
4.3.4 부속품	68
<b>4.4 나사 진공 펌프</b>	<b>69</b>
4.4.1 설계/작동 원리	69
4.4.2 어플리케이션	69
4.4.3 포트폴리오 개요	70
4.4.4 부속품	70
<b>4.5 다단계 루츠 펌프 - 진공 생성</b>	
4.5.1 설계/작동 원리	71
4.5.2 어플리케이션	71
4.5.3 ACP 포트폴리오 개요	72
4.5.3.1 공랭식 다단계 루츠 펌프	72
4.5.3.2 부속품	73
<b>4.6 다단계 루츠 펌프 - 진공 생성</b>	
4.6.1 설계/작동 원리	74
4.6.2 어플리케이션	75
4.6.3 부하 락과 비부식성 기체	75
4.6.4 공정 화학	76
4.6.5 가장 위험한 공정 화학	76
4.6.6 포트폴리오 개요	77
4.6.6.1 수냉식 공정 펌프	77
4.6.6.2 부속품	78
<b>4.7 루츠 진공 펌프</b>	<b>78</b>
4.7.1 설계/작동 원리	78
4.7.2 어플리케이션	80
4.7.2.1 배압 펌프 선택	80
4.7.3 포트폴리오 개요	81
4.7.3.1 표준 펌프	81
4.7.3.2 자석 커플링이 있는 표준 펌프	81
4.7.3.3 폭발 보호 펌프	81
4.7.3.4 기체 순환 냉각 루츠 펌프	82
4.7.4 부속품	82
4.7.5 펌핑 스테이션	82
<b>4.8 측면 채널 고진공 펌프</b>	<b>83</b>
4.8.1 설계/작동 원리	83
4.8.2 어플리케이션	83
4.8.3 포트폴리오 개요	83

# 차례

<b>4.9 터보 분자 펌프</b>	<b>83</b>
4.9.1 설계/작동 원리	83
4.9.1.1 터보 분자 펌프 작동 원리	84
4.9.1.2 홀백 단계 작동 원리	86
4.9.1.3 터보 펌프 성능 데이터	87
4.9.2 어플리케이션	88
4.9.3 포트폴리오 개요	89
4.9.3.1 기계적 베어링 터보 펌프	89
4.9.3.2 활발한 자기 부상 터보 펌프	90
4.9.3.3 드라이브와 부속품	90
<b>5 진공 측정 장비</b>	
<b>5.1 전체 압력 측정의 기초</b>	<b>92</b>
5.1.1 직접적, 기체 비의존 압력 측정	92
5.1.2 간접적, 기체 의존 압력 측정	93
<b>5.2 어플리케이션 주의사항</b>	<b>95</b>
5.2.1 측정 범위	95
5.2.2 액티브 진공 측정기	96
5.2.3 패시브 진공 측정기	96
5.2.4 조합 진공 측정기	96
<b>5.3 포트폴리오 개요</b>	<b>96</b>
5.3.1 DigiLine	96
5.3.2 ActiveLine	99
5.3.3 ModulLine	100
<b>6 질량 분석기와 잔류 기체 분석</b>	
<b>6.1 소개, 작동 원리</b>	<b>102</b>
<b>6.2 섹터 필드 질량 분석기</b>	<b>103</b>
6.2.1 작동 원리	103
6.2.2 어플리케이션 주의사항	104
<b>6.3 중극자 질량 분석기(QMS)</b>	<b>104</b>
6.3.1 4중극자 매스 필터	104
6.3.2 이온 소스	107
6.3.3 감지기	110
6.3.4 진공 시스템	112
6.3.5 유입 시스템	112
6.3.6 어플리케이션 주의사항	113
<b>6.4 포트폴리오 개요</b>	<b>114</b>
6.4.1 파이버 베콤 질량 분석기의 이점	115
6.4.2 데이터 분석 시스템	116

## 차례

## 7 누출 탐지

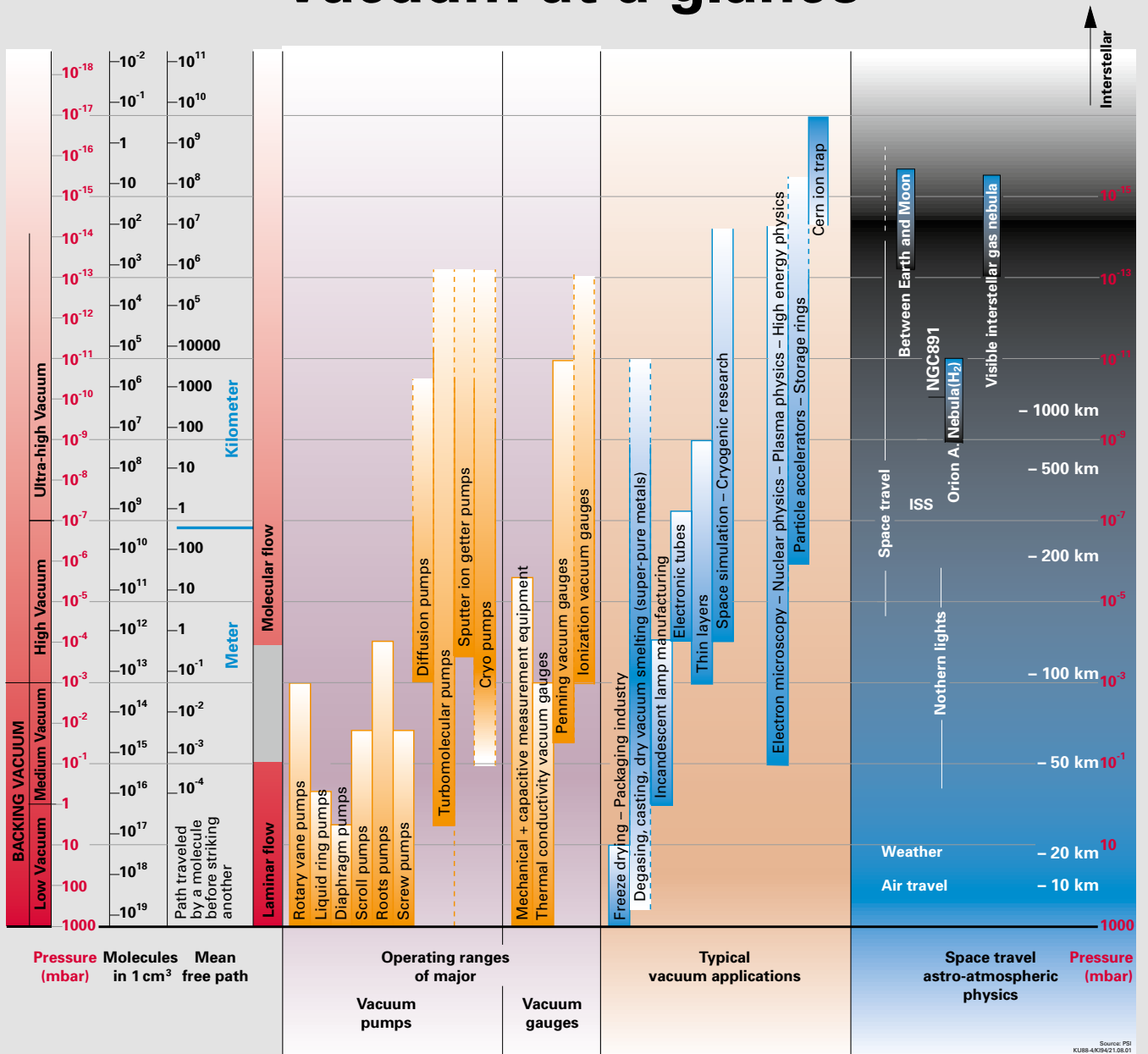
<b>7.1 일반</b>	<b>118</b>
7.1.1 누출과 누출 탐지 .....	118
7.1.2 누출률 .....	118
7.1.3 추적 기체 .....	119
<b>7.2 추적 기체로 누출 감지</b>	<b>119</b>
7.2.1 질량 분석기로 누출 감지기 설계 .....	119
7.2.2 석영 창 감지기로 누출 감지기 설계 .....	120
7.2.3 테스트 방법 .....	121
7.2.4 누출 감지기 보정 .....	121
7.2.5 국소 누출 감지 .....	121
7.2.6 필수 누출 감지 .....	122
<b>7.3 어플리케이션 주의사항</b>	<b>122</b>
7.3.1 헬륨으로 누출 감지 .....	122
7.3.2 누출 감지기와 4중극 질량 분석기로 테스트 결과 비교 .....	123
<b>7.4 포트폴리오 개요</b>	<b>124</b>
<b>7.5 산업용 누출 검사</b>	<b>125</b>
<b>8 오염 관리 솔루션</b>	
<b>8.1 소개</b>	<b>126</b>
<b>8.2 오염</b>	<b>127</b>
<b>8.3 AMC의 속성</b>	<b>128</b>
<b>8.4 퍼면 분자 오염(SMC)에서 결함까지</b>	<b>128</b>
<b>8.5 포트폴리오 개요</b>	<b>130</b>

# 1 진공 기술 소개

## 진공 노하우

### Vacuum at a glance

-  $10^{18}$  mbar at 3K  
 $\approx -3 \cdot 10^{16}$  g/m<sup>3</sup>  
 $\approx 100$  particles/m<sup>3</sup>



Source: PSI KLUB-4K/94/21.08.01

그림 1.1: 진공의 개요 [1]



## 1.1 일반

### 1.1.1 진공 - 정의

진공은 일반적으로 대기압의 압력을 받는 어떤 공간에서 마주치는 상태라고 정의됩니다. 이 압력은 그 공간에 균등하게 분포한 기체 또는 증기에 의해 생성될 수 있습니다.

진공의 표준 정의는 "어떤 용기 속의 자체 압력과 그 입자의 농도가 주변을 둘러싼 대기의 농도보다 낮은 또는 기체의 압력이 300 mbar보다 낮은(예: 지구 표면의 대기 압력보다 더 낮음) 기체의 상태"입니다.[2]

### 1.1.2 진공의 개요

표준으로 지정된 300 mbar의 중요성은 기압 공식을 생각해보면 분명해집니다. 대기압은 특정 지역에서의 공기 열의 무게가 감소하기 때문에 고도가 높아질수록 낮아집니다.

$$p_h = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot h}{p_0}\right)$$

공식 1-1: 기압 공식

$p_h$  높이  $h$ 에서의 대기압  
 $p_0$  해수면의 대기압 = 1,013.25 mbar 또는 101,325 Pa  
 $g$  중력 가속도 =  $9.81 \text{ m s}^{-2}$   
 $\rho_0$  0°C에서의 해수면 공기 밀도 =  $1.293 \text{ kg m}^{-3}$

단순화를 위하여 해수면의 공기 밀도, 중력 가속도, 대기압을 일정하다고 가정할 경우 다음과 같은 요약된 결과를 얻게 됩니다.

$$p_h = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{h}{8,005 \text{ m}}\right)$$

공식 1-2: 수치 기압 공식

$p_h = p_0/2$ 이고 방정식을  $h$ 에 대하여 풀 경우 결과는 반고도 값  $h_{1/2} = 5,548 \text{ m}$ 입니다. 달리 말하면 대기압은 5,548 km마다 반으로 줄어듭니다.

방정식의 높이 값이 에베레스트 산의 높이로 대체될 경우엔 335 mbar의 대기압 또는 공식 SI 단위로 표현된 33,500 Pa 또는 335 hPa이라는 결과를 얻게 됩니다. 이는 표준으로 제시된 300 mbar를 지구 표면에 존재하는 가장 낮은 대기압으로 설명합니다.

이 책에서는 표준을 준수하는 SI 단위를 중부 유럽에서 공통적으로 사용하는 mbar 수치 값과 상호관련시키기 위하여 SI 단위로 표현된 압력을 접두어 "헥토"가 보완된 Pa로 표현합니다.

지구 표면에서 10,000 m 상공을 나는 여객기의 순항 고도에서 대기압은 이미 290 hPa로 감소했습니다. 압력이 24 hPa인 곳에서는 기상 관측 기구가 최대 30 km까지 올라갑니다. 극궤도 기상 위성은 약 800 km 고도에서 극지역의 태양동조 궤도를 따라 비행합니다. 이곳의 압력은 이미 약  $10^{-6}$  hPa로 떨어졌습니다. 지구, 태양, 또는 태양계에서의 거리가 멀면 멀수록 압력은 더 낮아집니다. 알려진 가장 낮은 압력은 항성 간 공간에서 발견됩니다.

기술 어플리케이션 범위에서 압력은 절대적인 수치가 아니라 대기압과 관련되어 표시됩니다. 대기압의 압력 범위는 음수 또는 백분율로 표시됩니다. 이 예가 압력계, 가스용기나 진공 리프팅 기어에 사용하는 압력 감속기 또는 진공 이송 시스템입니다.

지상에서는 진공을 생성하기 위하여 다른 유형의 진공 펌프가 사용됩니다. 가장 중요한 유형의 진공 펌프 및 진공 장비의 동작 범위에 대한 개요는 그림 1.1: 진공의 개요 [1]에서 볼 수 있습니다.

## 1.2 기초

### 1.2.1 진공의 정의

압력은 단위 면적 당 수직으로 작용하며 균일하게 분산된 힘의 비율로 정의됩니다.

$$p = \frac{F}{A}$$

공식 1-3: 압력의 정의

$p$  압력 [Pa]  
 $F$  힘 [N];  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$   
 $A$  면적 [ $\text{m}^2$ ]

밀폐 용기 내의 기체 입자는 열 운동을 수행합니다. 용기 벽과의 상호작용에서 원자와 분자는 많은 횟수의 충돌을 경험합니다. 각각의 충돌은 용기 벽에 힘을 행사합니다. 밀폐된 기체가 외부의 영향에 노출되지 않은 곳에서 발생하는 수많은 충돌은 어느 지점 어느 방향에서 측정을 하든 용기 내의 어떤 지점에서 일어나는 것과 동일한 압력을 만들어냅니다.



그림 1.2: 전체 압력의 정의

실제로 단 하나의 기체만 사용하는 경우는 드뭅니다. 다른 가스들을 혼합하는 경우가 훨씬 더 일반적입니다. 이 기체들 중 각각의 단일 구성요소는 다른 구성요소와 무관하게 측정될 수 있는 특수한 압력을 행사합니다. 다른 구성요소들에 의해 행사된 이 압력을 분압이라 부릅니다. 이상적인 기체들의 경우 다양한 구성요소들의 분압은 전체 압력에 추가될 뿐 서로를 간섭하지는 않습니다. 모든 분압의 합계가 전체 압력입니다.

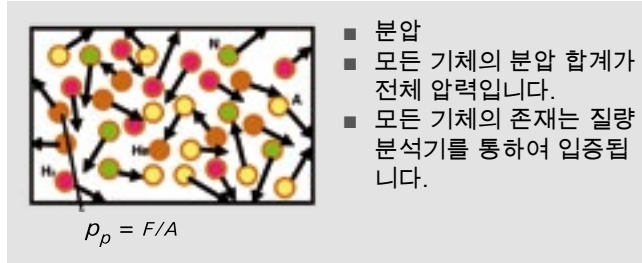


그림 1.3: 분압의 정의

기체 혼합의 예가 주변 공기입니다. 주변 공기의 분압 구성은 Table 1.1 [3]에 제시되어 있습니다.

기체 유형	화학 공식	부피(%)	분압[hPa]
질소	N <sub>2</sub>	78.09	780.9
산소	O <sub>2</sub>	20.95	209.5
수증기	H <sub>2</sub> O	< 2.3	< 23.3
아르곤	Ar	9.3 · 10 <sup>-1</sup>	9.3
이산화탄소	CO <sub>2</sub>	3.0 · 10 <sup>-2</sup>	3.0 · 10 <sup>-1</sup>
네온	Ne	1.8 · 10 <sup>-3</sup>	1.8 · 10 <sup>-2</sup>
수소	H <sub>2</sub>	< 1 · 10 <sup>-3</sup>	< 1 · 10 <sup>-2</sup>
헬륨	He	5.0 · 10 <sup>-4</sup>	5.0 · 10 <sup>-3</sup>
메탄	CH <sub>4</sub>	2.0 · 10 <sup>-4</sup>	2.0 · 10 <sup>-3</sup>
크립톤	Kr	1.1 · 10 <sup>-4</sup>	1.1 · 10 <sup>-3</sup>
일산화탄소	CO	< 1,6 · 10 <sup>-5</sup>	< 1,6 · 10 <sup>-4</sup>
크세논	Xe	9.0 · 10 <sup>-6</sup>	9.0 · 10 <sup>-5</sup>
아산화질소	N <sub>2</sub> O	5.0 · 10 <sup>-6</sup>	5.0 · 10 <sup>-5</sup>
암모니아	NH <sub>3</sub>	2.6 · 10 <sup>-6</sup>	2.6 · 10 <sup>-5</sup>
오존	O <sub>3</sub>	2.0 · 10 <sup>-6</sup>	2.0 · 10 <sup>-5</sup>
과산화수소	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4.0 · 10 <sup>-8</sup>	4.0 · 10 <sup>-7</sup>
요오드	I <sub>2</sub>	3.5 · 10 <sup>-9</sup>	3.5 · 10 <sup>-8</sup>
라돈	Rn	7.0 · 10 <sup>-18</sup>	7.0 · 10 <sup>-17</sup>

표 1.1: 대기의 구성 표시된 분압은 1,000 hPa를 나타냅니다.

참고: 수증기 표시 값은 293 K (20°C)의 포화 상태입니다. 이산화탄소와 일산화탄소의 값은 장소와 시간에 따라 변동됩니다. 일산화탄소 표시 값은 대도시의 최대값입니다. 기타 소스는 5 · 10<sup>-5</sup>%의 천연 수소 농도와 5 · 10<sup>-4</sup> hPa의 분압을 나타냅니다.

압력 범위	압력 hPa	압력 Pa	cm <sup>3</sup> 당 수밀도	m의 평균 자유 행로
대기압	1,013.25	101,325	2.7 · 10 <sup>19</sup>	6.8 · 10 <sup>-8</sup>
저진공(LV)	300...1	30,000...100	10 <sup>19</sup> ...10 <sup>16</sup>	10 <sup>-8</sup> ...10 <sup>-4</sup>
중간 진공(MV)	1...10 <sup>-3</sup>	100...10 <sup>-1</sup>	10 <sup>16</sup> ...10 <sup>13</sup>	10 <sup>-4</sup> ...10 <sup>-1</sup>
고진공(HV)	10 <sup>-3</sup> ...10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-1</sup> ...10 <sup>-5</sup>	10 <sup>13</sup> ...10 <sup>9</sup>	10 <sup>-1</sup> ...10 <sup>3</sup>
초고진공(UHV)	10 <sup>-7</sup> ...10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-5</sup> ...10 <sup>-10</sup>	10 <sup>9</sup> ...10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup> ...10 <sup>8</sup>
극고진공(XHV)	<10 <sup>-12</sup>	<10 <sup>-10</sup>	<10 <sup>4</sup>	>10 <sup>8</sup>

표 1.2: 진공 기술의 압력 범위

	Pa	bar	hPa	μbar	torr	micron	atm	at	mm WC	psi	psf
Pa	1	1 · 10 <sup>-5</sup>	1 · 10 <sup>-2</sup>	10	7.5 · 10 <sup>-3</sup>	7.5	9.87 · 10 <sup>-6</sup>	1.02 · 10 <sup>-5</sup>	0.102	1.45 · 10 <sup>-4</sup>	2.09 · 10 <sup>-2</sup>
bar	1 · 10 <sup>5</sup>	1	1 · 10 <sup>-3</sup>	1 · 10 <sup>6</sup>	750	7.5 · 10 <sup>5</sup>	0.987	1.02	1.02 · 10 <sup>4</sup>	14.5	2.09 · 10 <sup>3</sup>
hPa	100	1 · 10 <sup>-3</sup>	1	1,000	0.75	750	9.87 · 10 <sup>-4</sup>	1.02 · 10 <sup>-3</sup>	10.2	1.45 · 10 <sup>-2</sup>	2.09
μbar	0.1	1 · 10 <sup>-6</sup>	1 · 10 <sup>-3</sup>	1	7.5 · 10 <sup>-4</sup>	0.75	9.87 · 10 <sup>-7</sup>	1.02 · 10 <sup>-6</sup>	1.02 · 10 <sup>-2</sup>	1.45 · 10 <sup>-5</sup>	2.09 · 10 <sup>-3</sup>
torr	1.33 · 10 <sup>2</sup>	1.33 · 10 <sup>-3</sup>	1.33	1,330	1	1,000	1.32 · 10 <sup>-3</sup>	1.36 · 10 <sup>-3</sup>	13.6	1.93 · 10 <sup>-2</sup>	2.78
micron	0.133	1.33 · 10 <sup>-6</sup>	1.33 · 10 <sup>-3</sup>	1.33	1 · 10 <sup>-3</sup>	1	1.32 · 10 <sup>-6</sup>	1.36 · 10 <sup>-6</sup>	1.36 · 10 <sup>-2</sup>	1.93 · 10 <sup>-5</sup>	2.78 · 10 <sup>-3</sup>
atm	1.01 · 10 <sup>5</sup>	1.013	1,013	1.01 · 10 <sup>6</sup>	760	7.6 · 10 <sup>5</sup>	1	1.03	1.03 · 10 <sup>4</sup>	14.7	2.12 · 10 <sup>3</sup>
at	9.81 · 10 <sup>4</sup>	0.981	981	9.81 · 10 <sup>5</sup>	735.6	7.36 · 10 <sup>5</sup>	0.968	1	1 · 10 <sup>-4</sup>	14.2	2.04 · 10 <sup>3</sup>
mm WC	9.81	9.81 · 10 <sup>-5</sup>	9.81 · 10 <sup>-2</sup>	98.1	7.36 · 10 <sup>-2</sup>	73.6	9.68 · 10 <sup>-5</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>	1	1.42 · 10 <sup>-3</sup>	0.204
psi	6.89 · 10 <sup>3</sup>	6.89 · 10 <sup>-2</sup>	68.9	6.89 · 10 <sup>4</sup>	51.71	5.17 · 10 <sup>4</sup>	6.8 · 10 <sup>-2</sup>	7.02 · 10 <sup>-2</sup>	702	1	144
psf	47.8	4.78 · 10 <sup>-4</sup>	0.478	478	0.359	359	4.72 · 10 <sup>-4</sup>	4.87 · 10 <sup>-4</sup>	4.87	6.94 · 10 <sup>-3</sup>	1

표 1.3: 압력 단위의 변환표

우주에서는 은하수들의 근접성에 따라  $10^{-18}$  hPa 이하의 압력이 유지됩니다. 지구에서는 기술적으로 생성된  $10^{-16}$  hPa 미만의 압력이 보고된 바 있습니다.  $10^{-16}$  hPa까지의 대기압은 범위가 소수점 이하 19자리까지입니다. 압력 범위에 대해 특수하게 조정된 진공 생성 및 측정의 유형들은 Table 1.2에 제시된 것처럼 다양한 압력 범위를 세분화한 것입니다.

압력 측정 단위는 파스칼(pascal)입니다. 이 단위는 프랑스의 수학자, 물리학자, 작가 겸 철학자인 블레즈 파스칼(Blaise Pascal, 1623-1662)의 이름을 따라 명명되었습니다. Formula 1-3에 따르면, SI 단위인 pascal은  $\text{Pa} = \text{N m}^{-2}$ 로 구성됩니다. 단위 mbar, torr 그리고 표 1.3에 제시된 단위들은 실제로 흔히 사용됩니다.



추가 단위들과 변환 단위들은 당사의 eVacuum app에서 볼 수 있습니다.

### 1.2.2 일반 기체 방정식

각 물질은 원자 또는 분자로 구성되어 있습니다. 정의에 의하면, 물질의 양은 몰(mole)로 표시됩니다. 1몰의 물질은  $6.022 \cdot 10^{23}$  구성 입자(아보가드로 상수. 이것은 숫자가 아니라 단위  $\text{mol}^{-1}$ 의 물리적 규모입니다)를 포함합니다. 1몰은 정확히 뉴클리드  $^{12}\text{C}$ 의 탄소 12g 속에 함유된 원소의 숫자와 동일한 수의 입자로 구성된 어떤 시스템의 물질의 양으로 정의됩니다.

정상 상태(예: 압력 101.325 Pa 및 온도 273.15 K( $0^\circ\text{C}$ ))에서 어떤 이상적인 기체 1몰은 22.414리터의 용량을 채웁니다.

1664년에 로보터 보일(Robert Boyle)은 주어진 공기의 양에 대한 압력의 영향을 연구했습니다. 여러 가지 실험에서 마리오프(Mariotte)가 확인한 결과는 다음과 같은 보일-마리오프 법칙에 요약되었습니다.

$$p \cdot V = \text{const.}$$

공식 1-4: 보일-마리오프 법칙 [4]

말로 표현하면, 보일-마리오프 법칙은 일정한 온도에서 주어진 기체 양의 부피는 압력에 반비례한다는 것, 즉 압력과 부피의 곱은 상수라는 것입니다.

100년이 훨씬 지난 후에 기체 양의 부피의 온도 의존성도 확인되었습니다. 일정한 압력에서 주어진 기체 양의 부피는 절대 온도에 정비례합니다.

$$V = \text{const.} \cdot T$$

공식 1-5: 게이-뤼삭의 법칙

주어진 기체 양에서 압력과 온도를 변화시키면 다음과 같은 결과가 나옵니다.

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const.}$$

이것은 주어진 기체의 양에 적용됩니다. 주어진 온도와 주어진 압력에서 기체의 부피는 물질  $v$ 의 양에 비례합니다. 따라서 다음과 같이 정의할 수 있습니다.

$$\frac{p \cdot V}{T} = v \cdot \text{const.}$$

물질의 양은 중량에 의해 결정됩니다. 기체의 양을 몰 질량으로 나누어진 질량 비율이라고 표현할 수 있습니다. 상수  $\text{const.}$ 는 여기서 당해 기체 1몰을 가리키며, 이것은 기체 상수  $R$ 로 표현됩니다. 결과적으로 이상적인 기체의 상태는 다음과 같이 압력, 온도, 부피의 기능으로 설명할 수 있습니다.

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

공식 1-6: 이상적인 기체 상태의 일반 방정식 [5]

$p$ 압력	[Pa]
$V$ 부피	[ $\text{m}^3$ ]
$m$ 질량	[kg]
$M$ 몰 질량	[ $\text{kg kmol}^{-1}$ ]
$R$ 일반 기체 상수	[ $\text{kJ kmol}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]
$T$ 절대 온도	[K]

물질  $v$ 의 양은 또한 아보가드로 상수와 관련한 분자의 수로 표시할 수 있습니다.

$$p \cdot V = \frac{N}{N_A} \cdot R \cdot T = N \cdot k \cdot T \quad \text{where } k = \frac{R}{N_A}$$

공식 1-7: 이상적인 기체 상태 방정식 I

$N$ 입자의 수	
$N_A$ 아보가드로 상수	$= 6.022 \cdot 10^{23} \text{ [mol}^{-1}\text{]}$
$k$ 볼츠만 상수	$= 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ [J K}^{-1}\text{]}$

방정식의 양쪽을 부피로 나누면 다음과 같은 공식을 얻을 수 있습니다.

$$p = n \cdot k \cdot T$$

공식 1-8: 이상적인 기체 상태 방정식 II

$n$ 입자 수밀도	[ $\text{m}^{-3}$ ]
------------	---------------------

### 1.2.3 분자 수밀도

공식 1-7과 공식 1-8에서 보았듯이 압력은 입자 수밀도에 비례합니다. 표준 조건에서의 부피 단위 당 입자 수가 높기 때문에, 예를 들면,  $10^{-12}$  hPa의 압력에서는  $\text{cm}^3$  당 26,500개의 분자가 여전히 존재합니다. 그래서 초고진공 상태 하에서조차 아무 것도 없음 또는 하나도 없음이라고 말하는 것이 가능하지 않습니다.

우주 공간에서 파스칼 단위로 압력을 표현하는 것(예:  $10^{-18}$  hPa 미만)은 극히 낮은 압력에서 점점 비효과적이 됩니다. 이런 압력 범위는 입자 수밀도로 더 잘 표현할 수 있습니다(예: 행성간 공간에서  $\text{m}^3$  당  $< 10^4$  분자).

### 1.2.4 열 속도

용기에 밀폐된 기체 분자들은 완전히 무작위로 서로 충돌합니다. 이 과정에서 에너지와 자극이 전동됩니다. 이 전송의 결과, 속도 및/또는 운동 에너지의 분포가 발생합니다. 속도 분포는 최대 가능 속도에서 정점에 도달하는 종형 곡선(맥스웰-볼츠만 분포)과 일치합니다.

$$c_w = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot T}{M}} \quad \text{or} \quad c_w = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T}{m}}$$

공식 1-9: 최대 확률 속도 [6]

평균 열 속도는 다음과 같습니다.

$$c_w = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot M}} \quad \text{or} \quad \bar{c} = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot T}{\pi \cdot m}}$$

공식 1-10: 평균 속도 [7]

다음 표는 20°C에서 선택한 기체의 평균 열 속도를 나타냅니다.

기체	화학 기호	몰 질량 [g mol <sup>-1</sup> ]	평균 속도 [m s <sup>-1</sup> ]	마하수
수소	H <sub>2</sub>	2	1,754	5.3
헬륨	He	4	1,245	3.7
수증기	H <sub>2</sub> O	18	585	1.8
질소	N <sub>2</sub>	28	470	1.4
공기		29	464	1.4
아르곤	Ar	40	394	1.2
이산화탄소	CO <sub>2</sub>	44	375	1.1

표 1.4: 다양한 기체의 몰 질량 및 평균 열 속도 [8]

### 1.2.5 평균 자유 행로

향수병이 방 구석에서 열려 있을 경우엔 방의 반대편 구석에서 방향족 기체 물질을 감지하는 데에는 무척 긴 시간이 걸립니다. 이 경험은 앞에서 설명한 평균 기체 속도와 모순되는 것으로 보입니다. 그 이유는 가스 입자가 행로에서 계속 무수한 충돌을 겪는다는 데에 있습니다. 평균 자유 행로는 한 개의 입자가 다른 입자들과 두 번의 연속 충돌을 겪으며 여행할 수 있는 평균 거리입니다.

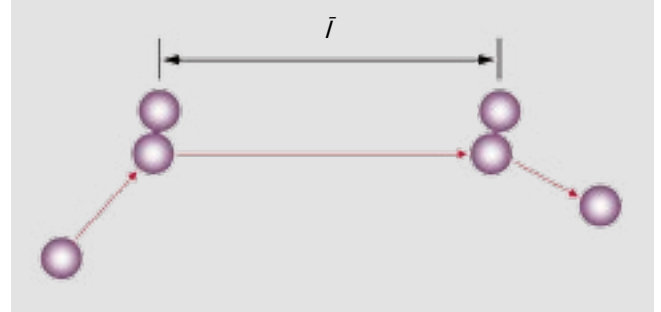


그림 1.4: 두 번의 충돌간 평균 자유 행로

동일한 입자들의 충돌에서는 평균 자유 행로에 대한 다음 공식이 적용됩니다.

$$\bar{\lambda} = \frac{k \cdot T}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot p \cdot d_m^2}$$

공식 1-11: 평균 자유 행로 [9]

$\bar{\lambda}$	평균 자유 행로	[m]
$d_m$	분자 직경	[m]
$m$	질량	[kg]

Formula 1-11에서는 평균 자유 행로가 온도에 선형 비례하며 압력과 분자 직경에 반비례하는 것처럼 보일 수 있습니다. 이 시점에서 우리는 서로 다른 가스 입자들 사이의 충돌, 가스 입자들과 이온 또는 전자의 충돌, 온도 효과와 같은 문제를 조사하는 학계에서 논의된 이 방정식의 추가 변형들을 무시합니다.

평균 자유 행로의 온도 의존성을 증명하기 위하여 Formula 1-11이 종종 방정식 오른쪽의 유일한 변수로써 온도와 함께 쓰여집니다.

$$\bar{\lambda} \cdot p = \frac{k \cdot T}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d_m^2}$$

공식 1-12: 평균 자유 행로 II

Table 1.5는 0°C에서 선택한 기체들의 수에 대한  $\bar{l} \cdot p$  값을 보여줍니다.

기체	화학 기호	$\bar{l} \cdot p$ [m hPa]	$\bar{l} \cdot p$ [m Pa]
수소	H <sub>2</sub>	11.5 · 10 <sup>-5</sup>	11.5 · 10 <sup>-3</sup>
질소	N <sub>2</sub>	5.9 · 10 <sup>-5</sup>	5.9 · 10 <sup>-3</sup>
산소	O <sub>2</sub>	6.5 · 10 <sup>-5</sup>	6.5 · 10 <sup>-3</sup>
헬륨	He	17.5 · 10 <sup>-5</sup>	17.5 · 10 <sup>-3</sup>
네온	Ne	12.7 · 10 <sup>-5</sup>	12.7 · 10 <sup>-3</sup>
아르곤	Ar	6.4 · 10 <sup>-5</sup>	6.4 · 10 <sup>-3</sup>
공기		6.7 · 10 <sup>-5</sup>	6.7 · 10 <sup>-3</sup>
크립톤	Kr	4.9 · 10 <sup>-5</sup>	4.9 · 10 <sup>-3</sup>
크세논	Xe	3.6 · 10 <sup>-5</sup>	3.6 · 10 <sup>-3</sup>
수은	Hg	3.1 · 10 <sup>-5</sup>	3.1 · 10 <sup>-3</sup>
수증기	H <sub>2</sub> O	6.8 · 10 <sup>-5</sup>	6.8 · 10 <sup>-3</sup>
일산화탄소	CO	6.0 · 10 <sup>-5</sup>	6.0 · 10 <sup>-3</sup>
이산화탄소	CO <sub>2</sub>	4.0 · 10 <sup>-5</sup>	4.0 · 10 <sup>-3</sup>
염화수소	HCl	3.3 · 10 <sup>-5</sup>	3.3 · 10 <sup>-3</sup>
암모니아	NH <sub>3</sub>	3.2 · 10 <sup>-5</sup>	3.2 · 10 <sup>-3</sup>
염소	Cl <sub>2</sub>	2.1 · 10 <sup>-5</sup>	2.1 · 10 <sup>-3</sup>

표 1.5: 273.15K에서 선택한 기체들의 평균 자유 행로 [10]

Table 1.5의 값을 사용하여 다양한 압력에서 질소 분자의 평균 자유 행로를 측정하면 다음과 같습니다.

압력 [Pa]	압력 [hPa]	평균 자유 행로 [m]
1 · 10 <sup>5</sup>	1 · 10 <sup>3</sup>	5.9 · 10 <sup>-8</sup>
1 · 10 <sup>4</sup>	1 · 10 <sup>2</sup>	5.9 · 10 <sup>-7</sup>
1 · 10 <sup>3</sup>	1 · 10 <sup>1</sup>	5.9 · 10 <sup>-6</sup>
1 · 10 <sup>2</sup>	1 · 10 <sup>0</sup>	5.9 · 10 <sup>-5</sup>
1 · 10 <sup>1</sup>	1 · 10 <sup>-1</sup>	5.9 · 10 <sup>-4</sup>
1 · 10 <sup>0</sup>	1 · 10 <sup>-2</sup>	5.9 · 10 <sup>-3</sup>
1 · 10 <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-3</sup>	5.9 · 10 <sup>-2</sup>
1 · 10 <sup>-2</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>	5.9 · 10 <sup>-1</sup>
1 · 10 <sup>-3</sup>	1 · 10 <sup>-5</sup>	5.9 · 10 <sup>0</sup>
1 · 10 <sup>-4</sup>	1 · 10 <sup>-6</sup>	5.9 · 10 <sup>1</sup>
1 · 10 <sup>-5</sup>	1 · 10 <sup>-7</sup>	5.9 · 10 <sup>2</sup>
1 · 10 <sup>-6</sup>	1 · 10 <sup>-8</sup>	5.9 · 10 <sup>3</sup>
1 · 10 <sup>-7</sup>	1 · 10 <sup>-9</sup>	5.9 · 10 <sup>4</sup>
1 · 10 <sup>-8</sup>	1 · 10 <sup>-10</sup>	5.9 · 10 <sup>5</sup>
1 · 10 <sup>-9</sup>	1 · 10 <sup>-11</sup>	5.9 · 10 <sup>6</sup>
1 · 10 <sup>-10</sup>	1 · 10 <sup>-12</sup>	5.9 · 10 <sup>7</sup>

표 1.6: 273.15K에서 질소 분자의 평균 자유 행로 (0°C)

대기압에서 질소 분자는 그러므로 두 번의 충돌간 59 nm의 거리를 여행하는 반면, 10<sup>-8</sup> hPa 이하 압력의 초고진공 상태에서는 수 킬로미터의 거리를 여행합니다.

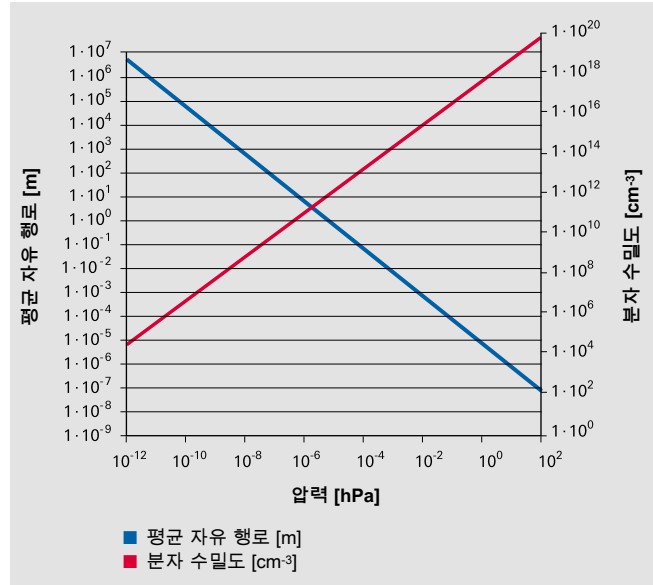


그림 1.5: 273.15 K의 온도에서 질소의 분자 수밀도(빨간색, 오른쪽 y축)와 평균 자유 행로(파란색, 왼쪽 y축)

### 1.2.6 흐름의 유형

흐름 채널 직경에 대한 평균 자유 행로의 비율은 흐름의 유형을 설명하는 데에 사용할 수 있습니다. 이 비율은 크누센 수라고 부릅니다.

$$K_n = \frac{\bar{l}}{d}$$

공식 1-13: 크누센 수

$\bar{l}$  평균 자유 행로 [m]  
 $d$  흐름 채널의 직경 [m]  
 $K_n$  크누센 수 무차원

크누센 수의 값은 기체 흐름의 유형을 특징지우면서 특별한 압력 범위에 해당합니다. Table 1.7은 진공 기술에서 다양한 유형의 흐름의 개요와 중요한 특성 파라미터를 제공합니다.

흐름 영역의 다양한 유형들의 개요는 그림 1.6에서 볼 수 있습니다.

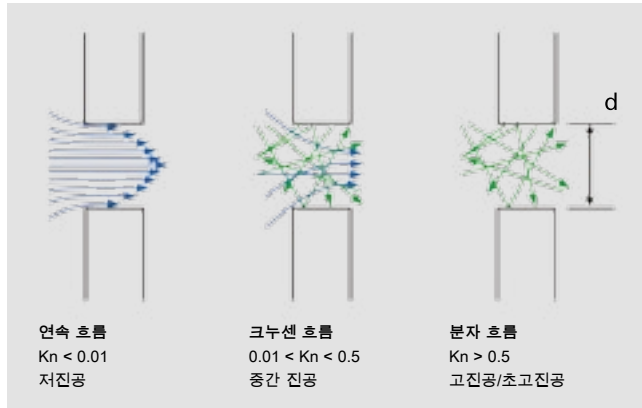


그림 1.6: 흐름 영역의 다양한 유형들의 개요

### 저진공에서의 점성 흐름

연속 흐름이라고도 알려진 점성 흐름에서는 기체 분자 사이에서 빈번한 충돌이 일어나지만 용기 벽에서는 덜 빈번한 충돌이 일어납니다. 이 경우 기체 분자들의 평균 자유 행로는 흐름 채널의 차원보다 훨씬 더 짧습니다.

점성 흐름의 경우, 거리는 층류 흐름과 난류 흐름 사이에서 일어납니다. 층류 흐름 또는 층이 있는 흐름에서 기체 입자들은 서로에게 항상 평행한 동일한 변위 층에 머물러 있습니다. 흐름 속도가 증가할 경우 이 층들은 깨지고 유체 입자들이 완전히 무질서하게 서로에게 흘러듭니다. 이것이 이른바 난류 흐름입니다. 점성 흐름의 이 두 영역 사이의 경계는 다음과 같이 레이놀즈 수라고 표현할 수 있습니다.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta}$$

공식 1-14: 레이놀즈 수

$Re$  레이놀즈 수 무차원  
 $\rho$  액체의 밀도 [kg m<sup>-3</sup>]  
 $v$  흐름의 평균 속도 [m s<sup>-1</sup>]  
 $l$  특징적 길이 [m]  
 $\eta$  동적 점성 [Pa s]

$Re$ (레이놀즈 수) < 2,300일 때까지는 층류 흐름이며,  $Re > 4,000$ 이면 난류 흐름이 됩니다.  $2,300 < Re < 4,000$ 의 범위에서는 흐름이 대부분 난류입니다. 층류 흐름도 가능하지만, 이 범위에서는 두 개의 흐름 유형이 모두 불안정해집니다.

진공 상태에서 난류 흐름은 대기압에서 또는 빠른 환기가 수행될 때 냉매 회수 운전 시에만 발생합니다. 진공 시스템에서 파이프는 난류 흐름이 상대적으로 높은 압력에서만 짧게 발생하도록 치수화됩니다. 왜냐하면 이 과정에서 발생하는 높은 흐름 저항은 사용된 펌프가 반드시 더 높은 부피 유속을 만들어내도록 강요하기 때문입니다.

### 중간 진공에서의 크누센의 흐름

크누센 수가 0.01에서 0.5 사이라면 이는 크누센의 흐름이라 할 수 있습니다. 많은 공정 압력이 중간 진공 범위에 있기 때문에 이런 유형의 흐름은 대응하는 주파수와 함께 발생합니다.

	점성 흐름	크누센 흐름	분자 흐름
	저진공	중간 진공	고진공/초고진공
압력 범위 [hPa]	10 <sup>3</sup> ...1	1...10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-3</sup> or < 10 <sup>-7</sup>
압력 범위 [Pa]	10 <sup>5</sup> ...10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> ...10 <sup>-1</sup>	< 10 <sup>-1</sup> or < 10 <sup>-5</sup>
크누센 수	Kn < 0.01	0.01 < Kn < 0.5	Kn > 0.5
레이놀즈 수	Re < 2,300: laminar Re > 4,000: turbulent		
p · d [hPa cm]	p · d > 0.6	0.6 > p · d > 0.01	p · d < 0.01

표 1.7: 흐름 영역의 유형들의 개요

**고진공 및 초고진공에서의 분자 흐름**

$n > 0.5$ 의 크누센 수에서는 사실상 분자의 상호작용이 더 이상 일어나지 않습니다. 우세한 것은 분자의 흐름입니다. 이 경우 평균 자유 행로가 흐름 채널의 직경보다 훨씬 더 큼니다. 분자의 흐름에서 압력과 구성품 직경의 곱은 약  $\leq 1.3 \cdot 10^{-2}$  hPa cm입니다.

압력과 구성품 직경의 곱에 따른 흐름 범위의 개요를 보여주는 그래프가 Figure 1.7에 나와 있습니다.

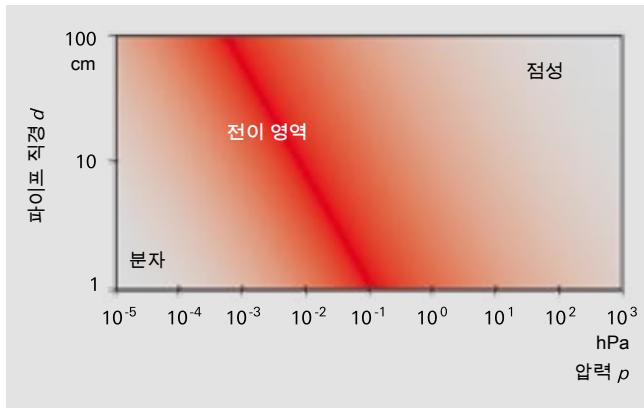


그림 1.7: p · d에 따른 진공 상태의 흐름 범위

이 그래프는 Table 1.7에서도 볼 수 있듯이 압력에 따라 순수하게 진공 범위로 분류하는 것이 무척 단순함을 보여줍니다. 하지만 이런 분류가 여전히 일반적으로 사용되고 있기 때문에 여기에서도 인용되고 있습니다.

**1.2.7 pV 처리량**

일반 기체 방정식(Formula 1-6)을 시간  $t$ 로 나누면 다음과 같이 기체의 흐름을 얻을 수 있습니다

$$q_{pV} = \frac{p \cdot V}{t} = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot t}$$

공식 1-15: pV 처리량

$q_{pV}$  pV 처리량 [Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>]

방정식의 오른쪽에서 볼 수 있듯이, 일정한 질량 흐름은 일정한 온도  $T$ 에서 변위됩니다. 이것 역시 pV 흐름 또는 기체 처리량이라 불립니다. 처리량은 진공 펌프에 의해 운반되는 기체 유속입니다.

$$q_{pV} = S \cdot p = \frac{dV}{dt} \cdot p$$

공식 1-16: 진공 펌프의 처리량

처리량을 유입 압력으로 나누면 다음과 같이 진공 펌프의 펌프 속도인 부피 흐름 비율을 얻을 수 있습니다.

$$S = \frac{dV}{dt}$$

공식 1-17: 부피 흐름 비율 또는 진공 펌프의 펌프 속도

처리량의 다양한 단위에 대한 변환표는 Table 1.8에 나와 있습니다.



추가 단위 및 변환은 당사의 eVacuum app에서 볼 수 있습니다.

	Pa m <sup>3</sup> /s = W	mbar l/s	torr l/s	atm cm <sup>3</sup> /s	lusec	sccm	slm	mol / s
Pa m <sup>3</sup> /s	1	10	7.5	9.87	7.5 · 10 <sup>3</sup>	592	0.592	4.41 · 10 <sup>-4</sup>
mbar l/s	0.1	1	0.75	0.987	750	59.2	5.92 · 10 <sup>-2</sup>	4.41 · 10 <sup>-5</sup>
torr l/s	0.133	1.33	1	1.32	1,000	78.9	7.89 · 10 <sup>-2</sup>	5.85 · 10 <sup>-5</sup>
atm cm <sup>3</sup> /s	0.101	1.01	0.76	1	760	59.8	5.98 · 10 <sup>-2</sup>	4.45 · 10 <sup>-5</sup>
lusec	1.33 · 10 <sup>-4</sup>	1.33 · 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	1.32 · 10 <sup>-3</sup>	1	7.89 · 10 <sup>-2</sup>	7.89 · 10 <sup>-5</sup>	5.86 · 10 <sup>-8</sup>
sccm	1.69 · 10 <sup>-3</sup>	1.69 · 10 <sup>-2</sup>	1.27 · 10 <sup>-2</sup>	1.67 · 10 <sup>-2</sup>	12.7	1	10 <sup>-3</sup>	7.45 · 10 <sup>-7</sup>
slm	1.69	16.9	12.7	16.7	1.27 · 10 <sup>4</sup>	1,000	1	7.45 · 10 <sup>-4</sup>
mol / s	2.27 · 10 <sup>3</sup>	2.27 · 10 <sup>4</sup>	1.7 · 10 <sup>4</sup>	2.24 · 10 <sup>4</sup>	1.7 · 10 <sup>7</sup>	1.34 · 10 <sup>6</sup>	1.34 · 10 <sup>3</sup>	1

표 1.8: 처리량 단위의 변환표

### 1.2.8 전도도

일반적으로 진공실은 배관을 통하여 진공 펌프와 연결되어 있습니다. 흐름 저항은 기체 분자와 벽 표면 사이의 외부적 마찰 및 기체 분자들 자체의 내부적 마찰(점성)의 결과로써 발생합니다. 이 흐름 저항은 압력 차 및 부피 흐름 비율 또는 펌프 속도 및 손실의 형태에서 분명해집니다. 진공 기술에서는 흐름 저항  $W$  대신 역수 즉 배관  $L$  또는  $C$ 의 전도성(전도도)을 사용하는 것이 관례입니다. 전도성은 부피 흐름 비율의 차원이며 일반적으로  $[l\ s^{-1}]$  또는  $[m^3\ h^{-1}]$ 로 표시됩니다.

배관을 통한 기체 흐름은 배관 끝에서 압력 차  $\Delta p$ 를 만듭니다. 다음 방정식이 적용됩니다.

$$C = \frac{l}{W} = \frac{q_{pV}}{\Delta p}$$

공식 1-18: 전도도의 정의

이 원리는 형식상 전자공학의 옴의 법칙과 유사합니다.

$$R = \frac{U}{I} \text{ or } \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$$

공식 1-19: 옴의 법칙

공식 1-18과 공식 1-19의 형식을 비교해보면,  $q_{pV}$ 는 흐름  $I$ 를,  $C$ 는 저항 역수  $1/R$ 을,  $\Delta p$ 는 전압  $U$ 를 나타냅니다. 구성품이 병렬로 연결될 경우, 개별 전도성은 다음과 같이 추가되며,

$$C_{total} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

공식 1-20: 병렬 연결 전도도

직렬로 연결될 경우, 저항(예: 역수)이 함께 추가됩니다.

$$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

공식 1-21: 직렬 연결 전도성

파이프와 굵은 파이프의 전도도는 다양한 흐름 영역에 따라 달라집니다. 점성 흐름에서는 평균 압력  $\bar{p}$ 에 비례하고 분자 흐름에서는 압력과 무관합니다. 크누센 흐름은 두 흐름 유형 사이의 전이를 대표하며, 전도성은 크누센 수에 따라 달라집니다.

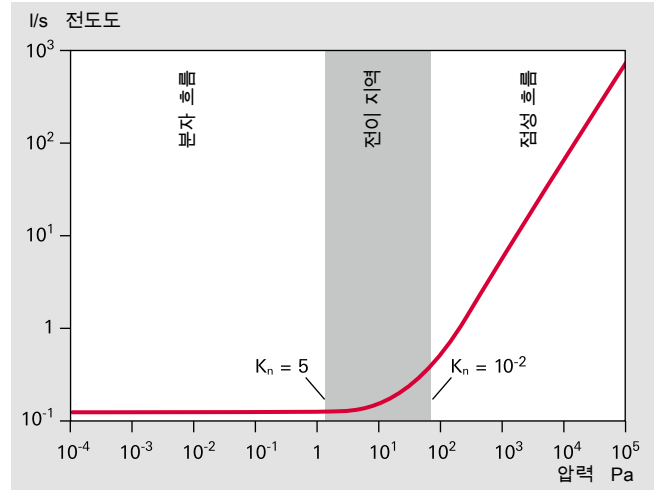


그림 1.8: 파이프의 평균 압력에 따른 부드러운 등근 파이프의 전도도

크누센 범위에 대한 단순 근사값은 총류 전도성과 분자 전도성을 추가하면 얻을 수 있습니다. 이 책에서는 파이프 입구의 불일치성을 고려하는 전도도 연산 뿐만 아니라 총류 흐름 범위에 있지만 예전 분자 흐름 범위의 전도도의 정확한 연산에 대한 특별한 책을 언급할 것입니다.

이 책은 총류 및 분자 흐름 범위에 대한 구멍 및 길고 등근 파이프의 전도성만 고려합니다.

구멍은 진공 시스템에서 흔히 흐름 저항을 일으킵니다. 이런 예는 펌프 속도를 측정하기 위한 측정 돔의 밸브, 환기 장치 또는 구멍의 횡단면에 주로 위치해 있습니다. 파이프 저항 외에도 용기 벽에 난 파이프 구멍에서 유입구의 구멍 저항을 고려해야 합니다.

#### 차단된 흐름

진공실의 환기에 대해 생각해봅시다. 환기 밸브가 열려 있을 경우 주변 공기가  $p$  압력에서 높은 속도로 용기 속으로 흘러 들어옵니다. 유속이 음속보다 빠르지는 않습니다. 기체가 음속에 도달했을 경우 최대 기체 처리량 역시 용기가 환기되는 지점에 도달했을 것입니다. 환기 밸브를 통한 처리량  $q_{pV}$ 는 용기의 내부 압력  $p_i$ 의 기능이 아닙니다. 다음 공식은 공기에 적용됩니다.

$$q_{pV} = 15.7 \cdot d^2 \cdot p_a$$

공식 1-22: 구멍의 차단 [11]

$d$  구멍의 직경 [cm]  
 $p_a$  용기에 대한 외부 압력 [hPa]



**기체 동적 흐름**

용기의 압력이 현재 임계 압력 이상으로 오를 경우 기체 흐름은 감소하며, 베르누이와 푸아죄유의 기체 역학 법칙을 사용하여 이를 계산할 수 있습니다. 몰입형 기체 흐름 flow  $q_{pV}$ 와 전도도는 다음 요소들에 의존합니다.

- 구멍의 가장 좁은 횡단면
- 용기에 대한 외부 압력
- 용기 내의 내부 압력
- 보편 기체 상수
- 절대 온도
- 몰 질량
- 단열 지수(= 일정 압력  $c_p$  또는 일정 부피  $c_v$ 에서의 특정 또는 몰 열 열량 비율) [12]

**분자 흐름 [13]**

구멍이 분자 흐름 상태가 존재하는 두 용기에 연결되어 있는 경우(예: 평균 자유 행로가 용기의 직경보다 훨씬 더 큰 경우), 다음 공식이 시간 단위 당 변위 기체 양  $q_{pV}$ 에 적용됩니다.

$$q_{pV} = A \cdot \frac{\bar{c}}{4} \cdot (p_1 - p_2)$$

**공식 1-23:** 구멍 흐름

A	구멍의 횡단면	[cm <sup>2</sup> ]
$\bar{c}$	평균 열 속도	[m s <sup>-1</sup> ]

Formula 1-23에 따르면 다음 공식이 구멍 전도성에 적용됩니다.

$$C_{or, mol} = A \cdot \frac{\bar{c}}{4} = A \cdot \sqrt{\frac{kT}{2\pi m_0}}$$

**공식 1-24:** 구멍 전도성

293 K 온도의 공기에서는 다음 공식을 얻을 수 있습니다.

$$C_{or, mol} = 11.6 \cdot A$$

**공식 1-25:** 공기에 대한 구멍 전도성

A	구멍의 횡단면	[cm <sup>2</sup> ]
C	전도성	[l s <sup>-1</sup> ]

이 공식은 유입 포트 A가 있는 진공 펌프의 최대 가능 펌프 속도를 결정하기 위해 사용할 수 있습니다. 분자 흐름 상태 하에 있는 펌프의 최대 펌프 속도는 따라서 유입 포트에 의해 결정됩니다.

이제 특정한 파이프 전도성을 살펴봅시다. 총류 흐름의 경우 파이프의 전도성은 평균 압력에 비례합니다.

$$C_{pipe, lam} = \frac{\pi \cdot d^4}{256 \cdot \eta \cdot l} \cdot (p_1 + p_2) = \frac{\pi \cdot d^4}{228 \cdot \eta \cdot l} \cdot \bar{p}$$

**공식 1-26:** 총류 흐름의 파이프 전도도

20°C의 공기에서는 다음과 같은 공식을 얻을 수 있습니다.

$$C_{pipe, lam} = 1.35 \cdot \frac{d^4}{l} \cdot \bar{p}$$

**공식 1-27:** 공기에 대한 총류 흐름의 파이프 전도도

l	파이프의 길이	[cm]
d	파이프의 직경	[cm]
$\bar{p}$	압력	[Pa]
C	전도성	[l s <sup>-1</sup> ]

분자 흐름 영역에서 전도도는 일정하고 압력의 영향을 받지 않습니다. 이것은 파이프 입구  $C_{pipe, mol}$ 의 구멍 전도성과 구멍을 통한 통과 가능성  $P_{pipe, mol}$ 의 곱이라고 여겨질 수 있습니다.

$$C_{pipe, mol} = C_{orifice, mol} \cdot P_{pipe, mol}$$

**공식 1-28:** 분자 파이프 흐름

평균 가능성  $P_{pipe, mol}$ 는 몬테카를로 시뮬레이션을 사용하여 서로 다른 파이프 프로파일, 굵은 파이프 또는 밸브에 대한 컴퓨터 프로그램으로 계산할 수 있습니다. 이런 연결에서 구멍을 통한 개별 기체 분자의 궤적은 벽 충돌을 기본으로 추측할 수 있습니다.

다음 공식은 길고 둥근 파이프에 적용됩니다.

$$C_{pipe, mol} = \frac{4}{3} \cdot \frac{d}{l}$$

**공식 1-29:** 길고 둥근 파이프의 통과 가능성

이 값에 구멍 전도성(Formula 1-24)을 곱하면 다음과 같은 공식을 얻을 수 있습니다.

$$C_{pipe, mol} = \frac{\bar{c} \cdot \pi \cdot d^3}{12 \cdot l}$$

**공식 1-30:** 분자 파이프 전도성

20°C의 공기에서는 다음과 같은 공식을 얻을 수 있습니다.

$$C_{pipe, lam} = 12.1 \cdot \frac{d^3}{l}$$

**공식 1-31:** 분자 파이프 전도성

l	파이프의 길이	[cm]
d	파이프의 직경	[cm]
C	전도성	[l s <sup>-1</sup> ]

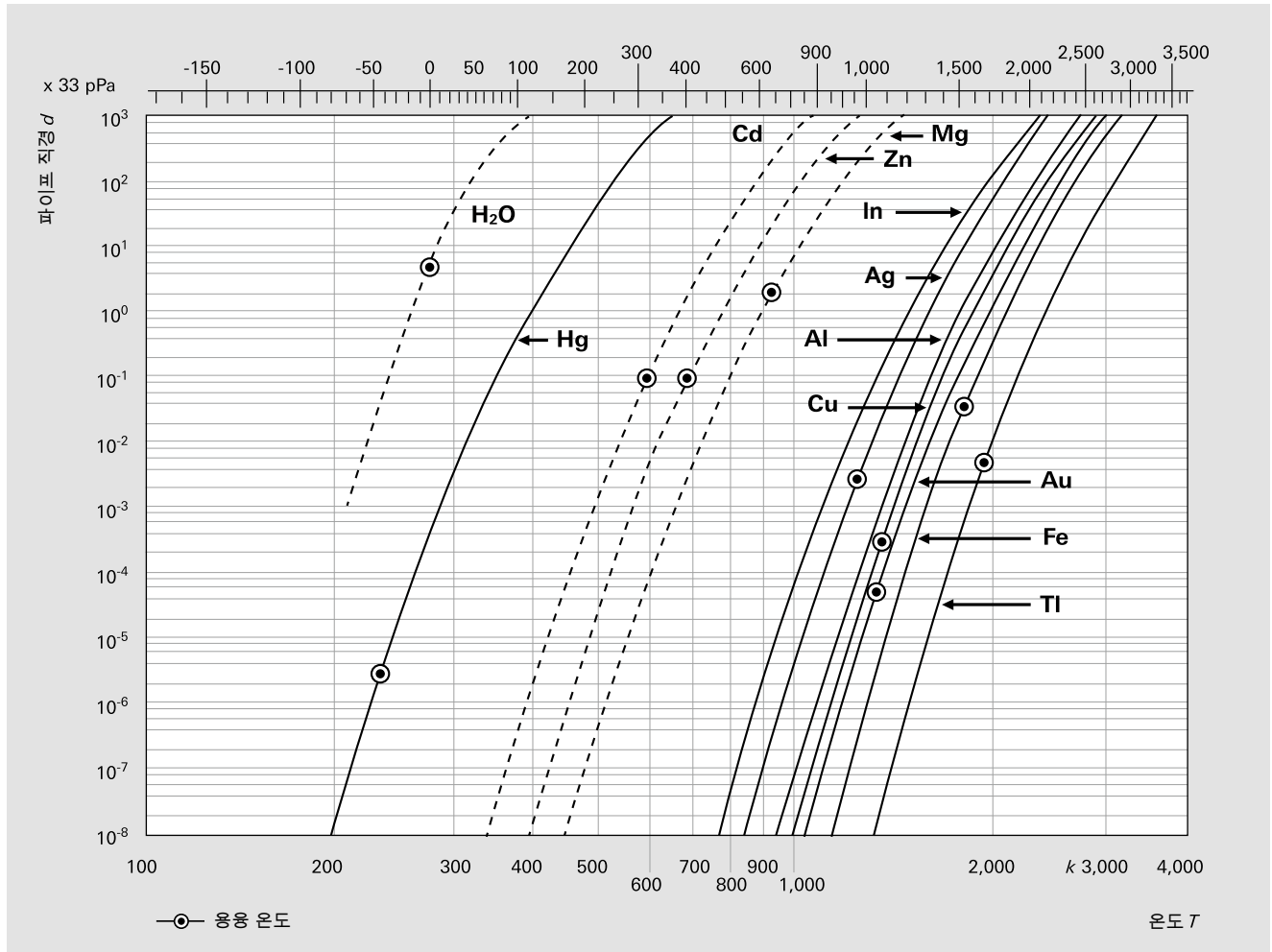


그림 1.9: 다양한 물질들의 증기압 곡선 [14]

### 1.3 실제 진공 시스템의 영향

#### 1.3.1 오염

진공실이 펌프 다운되었을 경우 가능한 한 신속히 원하는 압력에 도달하기 위하여 진공실을 청소해야 합니다. 진공 시스템의 일반적인 오염물에는 다음이 포함됩니다.

- 진공 시스템 보호 잔류물  
표면, 나사, 실의 오일 및 그리스
- 어플리케이션 관련 오염물  
공정 반응 제품, 먼지 및 입자
- 주변 관련 오염물  
응축 증기, 특히 용기 벽에 흡착된 물

결과적으로 진공 장비를 설치할 때 부속품이 가능한 한 깨끗한지 확인할 필요가 있습니다. 진공실에 부착된 모든 부속품은 깨끗하고 그리스가 없어야 합니다. 모든 실 역시 설치 후 건조되어야 합니다. 진공 그리스의 사용을 피할 수 없는 경우엔 아주 드물게, 있다 할지라도, 실런트가 아니라 설치 보조제로 사용해야 합니다. 고진공 또는 초고진공이 생성될 경우, 조립 과정에 보풀이 일지 않고 가루가 떨어지지 않는 깨끗한 장갑을 착용해야 합니다.

#### 1.3.2 응축과 기화

모든 물질은 액체, 고체, 기체 상태에서 발생할 수 있습니다. 이들의 집계 상태는 압력과 온도의 함수입니다. 액체는 기화를 통하여 가스 상태로 변하고, 승화를 통하여 고체 상태로 변합니다. 가스 단계에서 액체 또는 고체의 분리를 응축이라 부릅니다. 보통의 주변 공기가 약 m<sup>3</sup> 당 약 10 g의 수증기를 포함하고 있기 때문에, 응축된 수증기가 모든 표면에 존재하고 있습니다.

표면의 흡착은 특히 물 분자의 강한 극성 때문입니다. 특히 종이와 같은 천연 섬유엔 진공 하의 건조 과정에서 빠져나가는 거대한 양의 물이 포함되어 있습니다. 냉각 콘덴서는 수증기를 분리하기 위해 사용됩니다. 특정한 금속(카드뮴, 아연, 마그네슘)조차도 100°C의 고온에서 상당량이 기화됩니다. 이런 금속의 사용은 따라서 플랜트 건설에서 피해야 합니다.

### 1.3.3 탈리, 확산, 침투 및 누출

물 이외에도 진공 펌프 작동 유체와 같은 다른 물질들이 표면에 흡착될 수 있습니다. 물질들 역시 금속 벽에서 확산될 수 있고, 이는 잔류 기체에서 입증할 수 있습니다. 특히 엄격한 요구사항이 있는 경우, 스테인레스강 용기를 진공 상태에서 베이킹 아웃하여 휘발성이 있는 대부분의 구성품을 금속 벽에서 떼어낼 수 있습니다.

#### 탈리

기체 분자(기본적으로 물)는 흡착과 흡수를 통하여 진공실의 내부 표면에 들러붙었다가 진공 상태에서 다시 점차 탈리됩니다. 진공 시스템에서 금속 및 유리 표면의 탈리 비율은 시간이 흐르면서 점유율이 감소하기 때문에 기체 발생을 줄입니다. 주어진 시점  $t > t_0$ 가 된 후 시간에 대한 선형 토대에서 감소가 발생하리란 것을 가정하면 훌륭한 근사값을 얻을 수 있습니다.  $t_0$ 은 일반적으로 한 시간으로 가정합니다.

기체 발생은 따라서 다음과 같은 공식으로 설명할 수 있습니다.

$$Q_{des} = q_{des} \cdot A \cdot \frac{t_0}{t}$$

공식 1-32: 탈리 비율

$Q_{des}$	탈리 비율	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$q_{des}$	탈리 흐름 밀도 (영역별)	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]
$A$	면적	[m <sup>2</sup> ]
$t$	시간	[s]

#### 탈리로 인한 확산

플라스틱 표면의 10<sup>-6</sup> hPa 이하 탈리 작동 시, 특히 실의 경우, 더 중요하게 생각해야 합니다. 플라스틱은 주로 플라스틱에 용해된 기체들을 방출하는데, 이 기체들은 제일 먼저 표면에서 확산되는 게 분명합니다. 연장된 펌프 정지 시간 동안에는 플라스틱으로부터의 확산이 따라서 금속 표면으로부터의 확산보다 더 클 수 있습니다. 실의 표면 영역이 상대적으로 작지만, 시간에 따른 확산 비율의 감소는 금속 표면의 경우보다 더 느리게 일어납니다. 시간에 따른 감소가 시간의 제곱근의 비율로 일어날 거라고 가정할 수 있습니다.

플라스틱 표면에서 발생하는 기체는 따라서 다음과 같이 설명할 수 있습니다.

$$Q_{diff} = q_{diff} \cdot A_d \cdot \sqrt{\frac{t_0}{t}}$$

공식 1-33: 플라스틱에서의 확산 비율

$Q_{diff}$	탈리 비율	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$q_{diff}$	탈리 흐름 밀도 (영역별)	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]
$A_d$	용기에서 플라스틱 물질의 표면	[m <sup>2</sup> ]
$t$	시간	[s]

금속의 경우엔 훨씬 더 낮은 압력에서도 비슷한 결과가 발생합니다. 이 경우엔 수소와 탄소가 CO 및 CO<sub>2</sub>의 형태로 빠져 나오는데, 잔류 기체 스펙트럼에서 이를 볼 수 있습니다. Formula 1-33 역시 이 부분과 마찬가지로 맞습니다.

#### 침투와 누출

실과 심지어 금속 벽도 탈리에 의하여 헬륨과 같은 작은 기체 분자가 침투할 수 있습니다.

이 과정은 시간과 무관하기 때문에 그 결과는 원하는 최종 압력에서 지속적인 증가로 나타납니다. 침투 기체 흐름은 벽의 두께 및 물질 의존 침투 상수에 대한 압력 곡선에 비례합니다.

$$Q_{perm} = k_{perm} \cdot A \cdot \frac{p_a}{d}$$

공식 1-34: 침투

$Q_{perm}$	탈리 비율	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$p_a$	용기 외부 압력	[Pa]
$d$	벽 두께	[m]
$A$	용기의 표면	[m <sup>2</sup> ]
$k_{perm}$	침투 상수	[m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]

침투는 제일 먼저 10<sup>-8</sup> hPa 이하의 압력에서 분명히 나타납니다.

$Q_L$ 은 누출률(예: 누출을 통하여 진공 시스템으로 들어오는 기체 흐름)을 설명합니다. 누출률은 주어진 부피에서 시간에 대한 압력 상승으로 정의됩니다.

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot V}{\Delta t}$$

공식 1-35: 누출률

$Q_L$	누출률	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$\Delta p$	측정 기간 동안 압력 변화	[Pa]
$V$	부피	[m <sup>3</sup> ]
$\Delta t$	측정 기간	[s]

용기가 부피 흐름 비율  $S$ 로 계속 펌프 아웃될 경우, 처리량 (Formula 1-16)이 누출률  $Q_L = S \cdot p_{eq}$ 와 동일하면 평형 압력  $p_{eq}$ 가 산출됩니다.

평형 압력  $p_{eq}$ 가 작동 압력의 약 10%일 경우 시스템이 적절히 조여졌다고 볼 수 있습니다. 예를 들어 작동 압력이 10<sup>-6</sup> hPa에 도달해야 하고 사용 중인 진공 펌프의 펌프 속도가 100 l s<sup>-1</sup>일 경우, 누출률이 s 10<sup>-6</sup> Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 이상이어서는 안 됩니다.

누출률  $Q_L < 10^{-9}$  Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>은 깨끗한 스테인레스강 용기에서는 쉽게 달성할 수 있습니다.

주어진 시간  $t$  이후에 도달 가능한 최종 압력은 기본적으로 위에서 설명한 모든 효과 및 진공 펌프의 펌프 속도에 의존합니다. 전체 조건은 당연히 최종 압력이 진공 펌프의 기본 압력보다 높아야 한다는 것입니다.

$$Q_{des}(t) + Q_{diff}(t) + Q_{perm} + Q_L = p(t) \cdot S$$

공식 1-36: 시간에 따른 최종 압력

다양한 기체 흐름과 그로 인한 압력은 Formula 1-36을 사용하여 시간과 관련하여 방정식을 풀어서 주어진 펌프 시간  $t$ 에 대하여 연산할 수 있습니다. 도달 가능한 최종 압력은 이런 압력들의 합계입니다.

### 1.3.4 베이크 아웃

초고진공 범위에서 압력( $<10^{-8}$  hPa)에 도달하려면 다음 조건이 충족되어야 합니다.

- 진공 펌프의 기본 압력이 요구되는 최종 압력보다 10 낮은 요소여야 합니다.
- 진공실 및 구성품에 사용된 물질이 최소 탈기체에 적합해야 하고 적절한 표면 마감 등급이어야 합니다.
- 금속 실(예: CF 플랜지 연결 또는 ISO 표준용 헬리코플렉스 실)을 사용해야 합니다.
- 청정 작업은 초진공에는 필수입니다. 예를 들면 모든 부품은 설치 전에 철저히 청소해야 하고 그리스 없는 장갑을 착용한 채 설치해야 합니다.
- 장비와 고진공 펌프는 베이크 아웃이 필요합니다.
- 누출은 히터 작동 전에 피하거나 제거해야 합니다. 헬륨 누출 감지기 또는 4중극자 질량 분석기는 이런 목적을 위하여 사용해야 합니다.

베이크 아웃은 확산 및 탈리 비율을 크게 증가시키고 펌핑 시간을 크게 줄여줍니다. 제조 과정의 최종 단계들 중 하나인 UHV 사용 챔버는 최대 900°C의 온도에서 담금질을 할 수 있습니다. 후속 베이크 아웃 온도는 텐트에서 최대 300°C에 도달할 수 있습니다. 고진공 펌프 플랜지에서 최대 베이크 아웃 온도와 관련한 펌프 제조업체들의 지침은 일반적으로 작동 중 최대 온도를 120°C로 제한합니다. 열 소스가 진공 장비(예: 복사 난방)에서 사용될 경우 인정되는 복사 전력을 초과해서는 안 됩니다.

장비는 설치된 후에 가동해야 합니다.  $10^{-5}$  hPa의 압력에 도달한 후에는 히터를 켭니다. 가열하는 동안 모든 진공 측정기를 10시간 간격으로 가동하고 진공 상태로 만들어야 합니다. 적절한 표면 마감 등급으로 금속 실로 처리된 스테인레스강 용기를 사용할 경우 120°C의 베이크 아웃 온도와 약 48시간의 가열 시간이면  $10^{-10}$  hPa의 압력 범위에 충분히 도달할 수 있습니다.

베이크 아웃은 최종 기대 압력에 100회 도달할 때까지 지속되어야 합니다. 그런 다음에는 펌프 및 진공실의 히터들을 끕니다. 냉각 후에는 원하는 최종 압력에 도달할 겁니다.  $5 \cdot 10^{-10}$  hPa 미만의 압력과 거대한 내부 표면 영역에서는 높은 부피 흐름 비율에서 금속에서 수소를 배출시키는 기체 결합 펌프(티타늄 승화 펌프)를 사용하는 것이 좋습니다.

### 1.3.5 잔류 기체 구성

초고진공 상태에서 작업할 때에는 진공 공정을 시작하기 전에 또는 공정을 모니터하거나 제어하기 위하여 잔류 기체의 구성을 아는 것이 중요합니다. 깨끗하지 않거나 잘 베이크 아웃되지 않은 진공실에서는 물( $m/e = 18$ )과 그 성분인 OH( $m/e = 17$ )의 백분율이 클 수 있습니다.  $N_2/O_2$  비율이 약 4:1일 때 질소( $m/e = 28$ ) 및 산소( $m/e = 32$ )가 최대치에 달하면 누출을 확인할 수 있습니다.

수소( $m/e = 2$ ), 물( $m/e = 17$  및  $18$ ), 일산화탄소( $m/e = 28$ ), 이산화탄소( $m/e = 44$ )는 잘 베이크 아웃된 진공실에서 발견됩니다. 터보 분자 펌프를 사용할 때는 이산화탄소가 발견되지 않습니다. 이산화탄소는 고분자 질량 및 그로 인한 고압축비 때문에 진공실에서 효과적으로 배기됩니다. 터보 분자 펌프로 환기한 깨끗한 용기에 대한 일반 잔류 기체 스펙트럼은 그림 1.10에서 볼 수 있습니다.

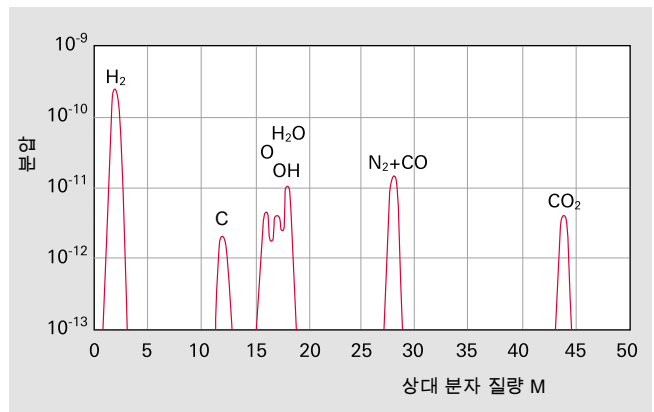


그림 1.10: 터보 분자 펌프로 환기한 깨끗한 용기에 대한 일반 잔류 기체 스펙트럼

질량 분석기로 작업하는 것에 대한 더 많은 정보는 6장 질량 분석기 및 잔류 기체 분석에 나와 있습니다.

### 1.3.6 환기

원하지 않는 오염을 피하려면 진공실을 공기 대신 건조 질소로 환기해야 합니다. 이렇게 하면 수증기와 주변 공기의 기타 응축 가능 물질들(예: 벤트 증기)이 용기 벽에 퇴적(흡착)하는 것을 막을 수 있습니다. 모든 응축물은 펌프 다른 작동과 비슷한 느린 확산 과정으로 인해 후속 배출을 연장시킵니다. 용기가 불활성 기체와 함께 환기될 경우에는 용기 내부에서 필요한 작업이 수행되도록 하기 위하여 용기를 개방해야 합니다. 용기를 오랫동안 개방하면 정비 직원의 작업으로 인한 대류 때문에 또는 탈리 때문에 주변 공기가 들어오므로써 수증기가 생길 수 있습니다.



# 2 기본 연산

## 2.1 일반

이 섹션에서는 간단한 치수 측정 문제에 대해 논의합니다.

- 주어진 시간 내에 진공 용기에서 특정한 압력에 도달하려면 어떤 크기의 펌프를 선택해야 합니까?
- 고진공 펌프일 경우엔 배압 펌프가 얼마나 커야 합니까?
- 높은 기체 부하를 펌프할 때엔 무엇을 알아야 합니까?
- 배관은 진공 펌프의 효과적인 펌프 속도에 어떤 영향을 미칩니까?

이런 모든 질문들은 당연히 이 장에서 철저히 다뤄지지 않습니다. 간단한 예제를 사용하여 기대되는 결과를 산출합니다. 해당하는 구체적인 어플리케이션에 대해, 사용되는 펌프 및 구성품의 기술 데이터를 고려해야 합니다. 그리고 특별 문헌 [15, 16, 17, 18, 19]도 치수 측정에 유용할 수 있습니다.

### 단위

모든 물리적 기술 매개변수는 수치와 단위로 구성됩니다. 국제 단위계(SI, 프랑스 국제 단위계에서 유래함)는 세계 표준을 채택했고, 이는 길이(m), 질량(kg), 시간(s), 열역학적 온도(K), 물질량(mol), 전류(A) 및 광도(cd)로 정의되어 있습니다. SI 시스템에 관한 국제 규정은 국제도량형국(BIPM)에서 결정하며, 개별 국가의 계측 기관에서 국가적으로 실행합니다.

다른 모든 값은 이 기본 값에서 파생됩니다. 이 개요서에 사용된 공식은 거의 예외 없이 물리적 기술 값만을 포함하며 변환 계수는 전혀 포함하지 않았습니다. 이는 SI 단위로 값을 표시한 후에는 결과 역시 SI 단위 내에 있음을 의미합니다. SI 단위의 예는 다음과 같습니다.  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2} = 0.01 \text{ hPa}$ (압력) 및  $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 3,600 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . 다음 섹션에서는 유명한 비 SI 단위들이 주로 사용됩니다. 하지만 적절한 변환이 필요할 경우엔 SI 단위가 사용됩니다. SI 단위만 사용하면 많은 오류와 변환 노력을 피할 수 있습니다. 안타깝게도 이런 이점은 전세계에서 무척 느리게 수용되고 있습니다.

## 2.2 연산

### 2.2.1 루츠 펌핑 스테이션 치수 측정

루츠 펌핑 스테이션 치수 측정에서는 다양한 선결 문제의 해결이 우선 요구됩니다.

#### 압축비

루츠 펌프의 압축비  $K_0$ 는 일반적으로 5에서 70 사이입니다. 이 비율을 결정하기 위해서는 펌프 속도  $S_R$ 에서 방전실로부터의 반환 기체 흐름 뿐만 아니라 주입된 기체의 부피와 전도성  $C_R$ 에 의한 역류도 우선적으로 고려해야 합니다.

$$p_a \cdot S = p_a \cdot S_0 - C_R (p_v - p_a) - S_R \cdot p_v$$

공식 2-1: 루츠 펌프 기체 부하

- $S$  체적 유량율(펌프 속도)
- $S_0$  유입 측면의 이론적 펌프 속도
- $S_R$  반환 기체 흐름의 펌프 속도
- $C_R$  전도성
- $p_a$  유입구 압력
- $p_v$  배압 진공 압력

$S$ 를 0과 동일하다고 선택하면 다음과 같은 압축비를 구할 수 있습니다.

$$\frac{p_a}{p_v} = K_0 = \frac{S_0 + C_R}{C_R + S_R}$$

공식 2-2: 루츠 펌프의 압축비

#### $K_0$ 압축비

총류 흐름의 경우 전도도는 역류 펌프 속도보다 훨씬 더 큼니다. 그래서 공식 2-2가 다음과 같이 단순해집니다.

$$K_0 = \frac{S_0}{C_R}$$

공식 2-3: 총류 흐름에서 루츠 펌프의 압축비

분자 흐름 범위에서, 펌프 속도는 유입 측면에서 가장 크지만 역류 펌프 속도는 현재 전도도 보다 훨씬 더 큽니다. 따라서 압축비는 다음과 같습니다.

$$K_0 = \frac{S_0}{S_R}$$

공식 2-4: 분자 흐름에서 루츠 펌프의 압축비

충류 흐름(높은 압력)에서, 압축비는 루츠 로브와 하우징 사이의 간격을 통한 역류로 제한됩니다. 전도도는 평균 압력에 비례하므로 압축비는 압력이 증가하면 감소합니다.

분자 흐름 범위에서, 방출 측면의 반한 기체 흐름  $S_R \cdot p_v$ 가 두드러지며, 압력비를 낮은 압력으로 제한합니다. 이런 효과 때문에 루츠 펌프의 사용은 10<sup>-4</sup> hPa 이상의 압력  $p_a$ 로 제한됩니다.

**펌프 속도**

루츠 펌프에는 펌프마다 30~60 hPa의 최대 차압  $\Delta p_d$ 를 허용하는 과류 밸브가 장착되어 있습니다. 루츠 펌프가 배압 펌프와 연결되어 있을 경우 압력 범위가 과류 밸브 열림( $S_1$ ) 및 닫힘( $S_2$ )으로 구분되어야 합니다.

기체 처리량이 두 펌프(루츠 펌프와 배압 펌프)에서 동일하므로 다음 공식이 적용됩니다.

$$S_1 = \frac{S_V \cdot p_v}{p_v \cdot \Delta p_d}$$

공식 2-5: 과류 밸브 열림 및 높은 전진공 압력 상태에서 루츠 펌핑 스테이션의 펌프 속도

- $S_1$  과류 밸브 열림 상태의 펌프 속도
- $S_V$  배압 펌프의 펌프 속도
- $p_v$  전진공 압력
- $\Delta p_d$  루츠 펌프의 압력과 유입 측면 사이의 최대 차압

차압이 전진공 압력보다 훨씬 더 작을 경우, 펌핑 스테이션의 펌프 속도는 배압 펌프의 펌프 속도보다 약간 더 높습니다. 배압 진공 압력이 차압에 가까워지면 과류 밸브가 닫히고 다음 공식이 적용됩니다.

$$S_1 = \frac{S_0}{1 - \frac{1}{K_0} + \frac{S_0}{K_0 \cdot S_V}}$$

공식 2-6: 과류 밸브 닫힘 및 차압에 가까운 전진공 압력 상태에서 루츠 펌핑 스테이션의 펌프 속도

이제 일정 압력에 반하여 작용하는 루츠 펌프의 특별한 경우를 살펴봅시다(예: 콘덴서 모드). Formula 2-3은 높은 압력 범위에서 적용됩니다. Formula 1의 값  $C_R$ 을 사용하고 전도도 값  $C_R$ 에 대한 역류  $S_R$ 을 무시하면 다음과 같은 공식을 얻을 수 있습니다.

$$S = S_0 \cdot \left[ 1 - \frac{1}{K_0} \left( \frac{p_v}{p_a} - 1 \right) \right]$$

공식 2-7: 높은 유입 압력에서 루츠 펌핑 스테이션의 펌프 속도

낮은 압력에서는 Formula 2-4의  $S_R$ 을 사용하여 다음과 같은 공식을 얻을 수 있습니다.

$$S = S_0 \cdot \left[ 1 - \frac{p_v}{K_0 \cdot p_a} \right]$$

공식 2-8: 낮은 유입 압력에서 루츠 펌핑 스테이션의 펌프 속도

Formula 2-6에서, 압축비  $K_0$ 가 루츠 펌프의 이론적 펌프 속도  $S_0$ 와 전진공 펌프 속도  $S_V$  사이의 차보다 훨씬 더 클 경우엔  $S$ 가  $S_0$ 에 가까워지는 것처럼 보일 수 있습니다.

예를 들어 압축비가 40이고 루츠 펌프의 펌프 속도를 배압 펌프의 펌프 속도보다 10배 더 큰 것으로 선택할 경우엔  $S = 0.816 \cdot S_0$ 라는 공식을 얻을 수 있습니다.

펌핑 스테이션에서 사용하기 위하여 조정할 경우 루츠 펌프의 이론적 펌프 속도가 배압 펌프의 펌프 속도보다 10배 이상 커서는 안 됩니다.

과류 밸브가 약 50 hPa의 차압으로 설정되어 있기 때문에 배압 펌프의 체적 유량율은 50 hPa 이상의 압력일 경우에 효과적입니다. 예를 들어 커다란 용기를 주어진 시간 동안 100 hPa로 환기할 경우 그에 어울리는 커다란 배압 펌프를 선택해야 합니다.

부피 2 m<sup>3</sup>의 용기를 10분 동안 5 · 10<sup>-3</sup> hPa의 압력으로 환기해야 하는 펌핑 스테이션의 예를 들어 봅시다. 이를 수행하기 위해서는 용기를 5분 내에 50 hPa로 환기할 수 있는 배압 펌프를 선택합니다. 일정한 체적 유량율에서는 다음과 같은 공식이 적용됩니다.

$$t_1 = \frac{V}{S} \ln \frac{p_0}{p_1}$$

공식 2-9: 펌프-다운 시간

- $t_1$  배압 펌프의 펌프-다운 시간
- $V$  용기의 부피
- $S$  배압 펌프의 펌프 속도
- $p_0$  초기 압력
- $p_1$  최종 압력

Formula 2-9를 바꾸면 필요한 펌프 속도를 계산할 수 있습니다.

$$S = \frac{V}{t_1} \ln \frac{p_0}{p_1}$$

공식 2-10: 펌프 속도 계산

위에서 주어진 수치를 사용하면 다음과 같은 공식을 얻을 수 있습니다.

$$S = \frac{2,000}{300 \text{ s}} \ln \frac{1,000}{50} = 20 \frac{l}{s} = 72 \frac{m^3}{h}$$

100 m<sup>3</sup>/h<sup>-1</sup>의 펌프 속도가 S<sub>v</sub>인 Hepta 100을 배압 펌프로 선택합니다. 동일한 공식을 사용하여 루츠 펌프의 펌프 속도가 61 l s<sup>-1</sup> = 220 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>임을 추산하여 펌프 속도가 S<sub>0</sub> = 490 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>이고 중간 진공 범위에 대한 과류 밸브 차압이 Δp<sub>d</sub> = 53 hPa인 Okta 500을 선택합니다.

아래의 표에서, 열 p<sub>v</sub>에서 주어진 전진공 압력이 자체 펌프 속도 곡선에서 Hepta 100의 당해 펌프 속도 S<sub>v</sub>를 사용하는 것으로 선택하여 처리량을 계산합니다. Q = S<sub>v</sub> · p<sub>v</sub>.

$$\text{압축비 } K_{\Delta} = \frac{p_v + \Delta p_d}{p_v}$$

는 전진공 압력이 최대 56 hPa인 개방형 과류 밸브의 연산 결과입니다. 전진공 압력이 ≤ 153 hPa일 때 K<sub>0</sub>는 그림 2.1과 같습니다. 루츠 펌프의 펌프 속도를 계산하는 데에는 두 가지 방법이 있습니다.

개방형 과류 밸브일 경우 S<sub>1</sub>은 Formula 2-5에서 구할 수 있고, 폐쇄형 과류 밸브일 경우 S<sub>2</sub>는 Formula 2-6을 토대로 구할 수 있습니다. 전진공 압력이 차압 Δp<sub>d</sub>에 가까울수록 S<sub>1</sub>

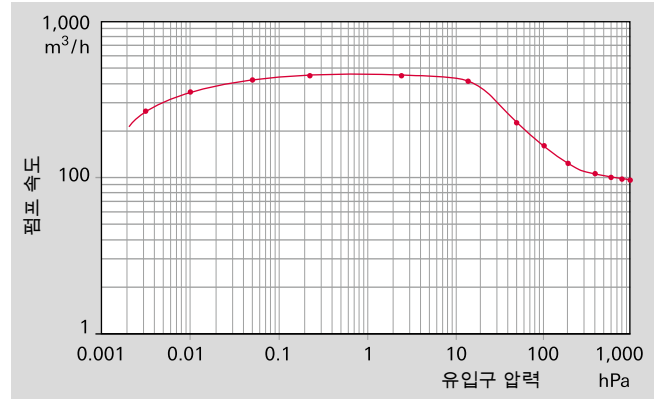


그림 2.2: Hepta 100과 Okta 500을 갖춘 펌핑 스테이션의 체적 유량을(펌프 속도)

은 S<sub>2</sub>보다 더 커집니다. 두 개의 펌프 속도 중 더 낮은 것이 항상 올바른 펌프이고, 이를 S로 지정합니다. 유입구 압력은 다음 공식으로 구할 수 있습니다.

$$p_a = \frac{Q}{S}$$

그림 2.2는 이 펌핑 스테이션에 대한 펌프 속도 그래프를 보여줍니다.

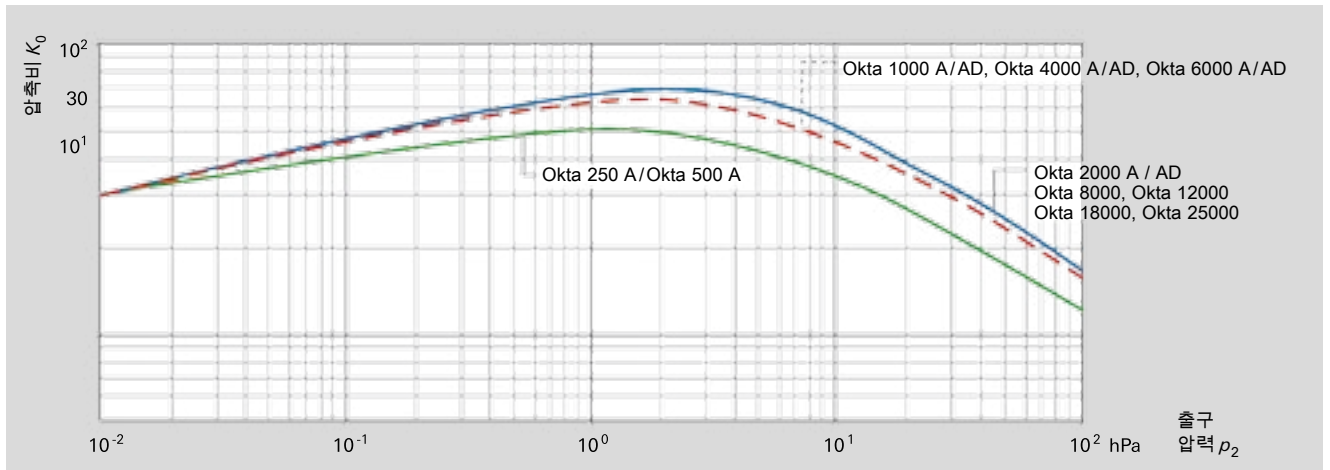


그림 2.1: 루츠 펌프의 공기에 대한 무부하 압축비

P <sub>a</sub> (hPa)	P <sub>v</sub> (hPa)	S <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q (hPa · m <sup>3</sup> /h)	K <sub>Δ</sub>	K <sub>0</sub>	S <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /h)	S <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t (h)	t (s)
1,000.0000	1,053.00	90.00	94,770.00	1.05		94.77		0.00490	17.66
800.0000	853.00	92.00	78,476.00	1.07		98.10		0.00612	22.04
600.0000	653.00	96.00	62,688.00	1.09		104.48		0.00827	29.79
400.0000	453.00	100.00	45,300.00	1.13		113.25		0.01359	48.93
200.0000	253.00	104.00	26,312.00	1.27		131.56		0.00652	23.45
100.0000	153.00	105.00	16,065.00	1.53	7.00	160.65	321.56	0.00394	14.18
50.0000	103.00	105.00	10,815.00	2.06	13.00	216.30	382.20	0.00608	21.87
14.9841	56.00	110.00	6,160.00	18.70	18.00	2,053.33	411.10	0.00822	29.58
2.5595	10.00	115.00	1,150.00		36.00		449.30	0.01064	38.30
0.2300	1.00	105.00	105.00		50.00		456.52	0.00670	24.13
0.0514	0.30	75.00	22.50		46.00		437.39	0.00813	29.27
0.0099	0.10	37.00	3.70		40.00		375.17	0.00673	24.23
0.0033	0.06	15.00	0.90		39.00		270.42	0.00597	21.51
0.0018	0.05	5.00	0.25		37.00		135.29		

펌프-다운 시간: 344.94 s

표 2.1: 루츠 펌핑 스테이션 및 펌프 다운 시간의 펌프 속도



**펌프-다운 시간**

용기의 펌프-다운 시간은 단계별로 계산됩니다. 펌프 속도가 커다란 차이를 보이는 영역에서는 전진공 압력 간격이 서로 근사한 값으로 구성되어야 합니다. 공식 2-9는 간격 사이의 펌프-다운 시간을 결정하기 위하여 사용되는데, S는 계산된 압력 간격에서 두 개의 펌프 속도의 중간 값으로 사용됩니다. 총 펌프-다운 시간은 표 2-1의 마지막 열에 있는 모든 시간의 합입니다.

펌프-다운 시간은 진공 시스템의 누출율, 배관 및 진공실에 존재하는 기화 액체의 전도도, 다공성 물질의 기화와 오염된 벽에 의해서도 영향을 받습니다. 이런 요인들 중 일부는 섹션 2.2.3.1 및 2.3에서 논의됩니다. 위에 언급한 영향 중에서 분명하지 않은 것이 있을 경우엔 펌핑 스테이션에 적절한 유보 조항을 제공할 필요가 있습니다.

**2.2.2 콘덴서 모드**

많은 진공 공정(건조, 증류)에서 엄청난 양의 증기가 배출되고 펌프 다운 되어야 합니다. 게다가 상당량의 누출 공기가 커다란 용기 속으로 침투하고, 기화 또는 건조 중인 이런 물질들이 구멍 속에 들어 있거나 용액 속에 용해된 추가 공기를 배출합니다.

건조 과정에서 증기는 항상 충분한 수증기 용량을 가진 진공 펌프에 의해 대기압에 반하여 변위된 다음 그곳에서 응축될 수 있습니다. 하지만 이 과정은 다음과 같은 단점이 있습니다.

- 펌프가 무척 커야 한다.
- 증기와 혼합되면 펌프에서 많은 양의 오일 분무를 일으키는 거대한 양의 기체 밸러스트 공기가 혼입된다.
- 수증기와 오일 분무로 인한 응축물을 처리해야 하는데, 처리 비용이 많이 든다.

증류 과정은 콘덴서로 조작하며, 물체는 연결된 진공 펌프를 통하여 가능한 한 응축 증류액을 잃지 말아야 합니다.

시간 당 10 kg의 물을 증발시키는 열에 의해 충분한 에너지가 공급되고 건조할 재료를 포함한 진공실 또는 수용기를 생각 해봅시다.

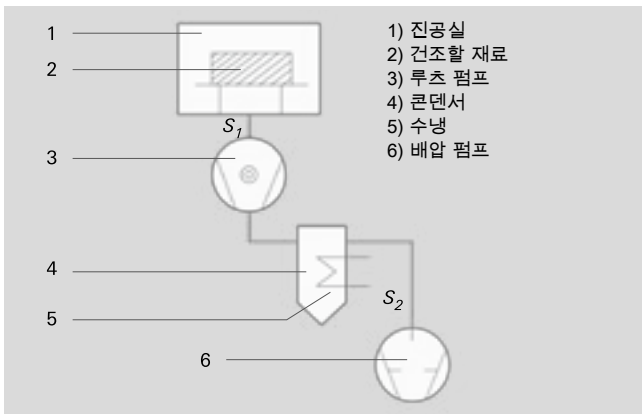


그림 2.3: 건조 시스템(도해)

또한 시간 당 0.5 kg의 공기가 배출됩니다. 진공실의 압력은 10 hPa 미만이어야 합니다. 그림 2.3의 펌핑 스테이션은 건조에 사용되며, 콘덴서의 사용을 통하여 증기를 비용 효율적으로 응축합니다.

건조할 물질(2)은 진공실(1)에서 가열됩니다. 루츠 펌프(3)는 증기/공기 혼합물을 콘덴서(4)로 배출하고, 콘덴서에서는 증기의 대부분이 응축됩니다.

콘덴서는 물로 냉각됩니다. 25°C에서의 응축 물은 30 hPa 압력의 수증기와 균형을 이룹니다. 추가 진공 펌프(5)는 소량의 수증기로 공기 함유량을 배출하고 대기압에 반하는 혼합물을 배출합니다. 첫 번째 단계로, 진공실의 기체 흐름을 다음과 같이 계산합니다.  $Q = \rho_{vc} \cdot S_1$

이상적인 기체 법칙은 공식 1-15를 따르므로, 다음과 같은 공식을 얻을 수 있습니다.

$$Q = \rho_{vc} \cdot S_1 = \frac{R \cdot T}{t} \cdot \left( \frac{m_{water}}{M_{water}} + \frac{m_{air}}{M_{air}} \right)$$

공식 2-11: 증기 배출을 위한 기체 처리량

T	유입 기체 온도	[K]
R	일반 기체 상수	8.314 kJ kmol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
t	시간	[s]
$\rho_{vc}$	진공실의 압력	[Pa]
$m_{water}$	수증기 질량	[kg]
$M_{water}$	물의 몰 질량	[kg mol <sup>-1</sup> ]
$m_{air}$	공기 질량	[kg]
$M_{air}$	공기의 몰 질량	[kg mol <sup>-1</sup> ]

실제 경우,

T	유입 기체 온도	300 K
R	일반 기체 상수	8.314 kJ kmol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
t	시간	3600 s
$\rho_{vc}$	진공실의 압력	1000 Pa
$m_{water}$	수증기 질량	10 kg
$M_{water}$	물의 몰 질량	0.018 kg mol <sup>-1</sup>
$m_{air}$	공기 질량	0.5 kg
$M_{air}$	공기의 몰 질량	0.0288 kg mol <sup>-1</sup>

12 Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>의 공기와 385 Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>의 수증기를 합쳐 총 397 Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>에 대한 기체 처리량을 구합니다. 1000 Pa의 유입구 압력  $\rho_{vc}$ 로 나누면 0.397 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 또는 1429 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>의 펌프 속도 S<sub>1</sub>을 구할 수 있습니다.

콘덴서를 비울 때 부분 공압이 30%, 즉 최대 12.85 hPa를 초과해서는 안 됩니다. 그 결과는 다음과 같습니다.

$$S_2 = \frac{Q_{air}}{0.3 \cdot \rho_{air}}$$

12 Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>의 공기와 1285 Pa의 압력에 대한 기체 처리량으로 0.031 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 또는 112 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>의 펌프 속도 S<sub>2</sub>를 구할 수 있습니다.

따라서 배압 펌프로 Hepta 100 나사 펌프를 선택합니다. 펌프 속도가 계산된 속도보다 조금 더 낮기 때문에 이 펌프는 약간 더 높은 부분 공압에 도달합니다. 그리고 루츠 펌프로 다음 값을 가진 Okta 2000을 선택합니다.

$$S_0 = 2065 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$\Delta p_d \text{ 과류 밸브에서 } 35 \text{ hPa 차압}$$

$$K_0 \rho_v = 43 \text{ hPa일 때 } 28$$

Formula 2-7에 따라 유입구 압력  $p_a$ 를 1000 Pa로 추산하여  $S_1$ 을 계산합니다.

$$S = S_0 \cdot \left[ 1 - \frac{1}{K_0} \left( \frac{\rho_v}{\rho_a} - 1 \right) \right]$$

0.506  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  또는  
1.822  $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ 의 펌프 속도  $S_1$ 을 구할 수 있습니다.

$$p_a = \frac{Q}{S_1}$$

와 785 Pa의  $p_a$  값으로 건조실의 유입구 압력을, 공식 2-7에서 이 수치를 다시 한 번 사용하여 유입구 압력  $p_a = 823 \text{ Pa}$ 에 대한 정확한 펌프 속도  $S_1 = 1.736 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 에 도달합니다.

응축해야 할 증기량 10  $\text{kg h}^{-1}$ 을 콘덴서로 계산합니다. 응축 표면 면적에 다음 공식이 적용됩니다.

$$A_k = \frac{Q_{\text{water}} \cdot m_{\text{water}}}{t \cdot \Delta T_m \cdot k}$$

공식 2-12: 응축 표면 면적의 계산

$A_k$	응축 표면 면적	[ $\text{m}^2$ ]
$Q_{\text{water}}$	특정한 증발 엔탈피	[ $\text{Ws kg}^{-1}$ ]
$m_{\text{water}}$	수증기 질량	[kg]
$\Delta T_m$	증기와 응축 표면 사이의 온도차	[K]
$k$	열 투과 계수	[ $\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ]

실제 경우,

$$Q_{\text{water}} = 2,257 \cdot 10^6 \text{ Ws kg}^{-1}$$

$$m_{\text{water}} = 10 \text{ kg}$$

$$t = 3600 \text{ s}$$

$$\Delta T_m = 60 \text{ K}$$

$$k = 400 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$A_k$  0.261  $\text{m}^2$ 의 응축 표면 면적을 구할 수 있습니다.

증기는 콘덴서로 가는 도중에 재냉각되기는 하지만 실제 단열 압축을 통하여 100 K 이상으로 가열됩니다. 그래서  $\Delta T_m = 60 \text{ K}$ 라는 가정은 상당히 설득력이 있습니다. 열 투과 계수  $k$ [20]는 불활성 기체의 농도가 증가함에 따라 상당량 감소하고, 그 결과 응축 표면 면적이 더 커집니다. 거꾸로 불활성 기체의 농도가 감소하면 더 큰 배압 펌프 및 더 작은 응축 표면 면적으로 작업이 가능합니다. 누출율이 작다 해도 역시 불활성 기체의 농도를 증가시키므로 특별한 주의를 기울여야 합니다.

더 상세한 기술 세부사항은 특별 문헌 [21]에서 볼 수 있습니다.

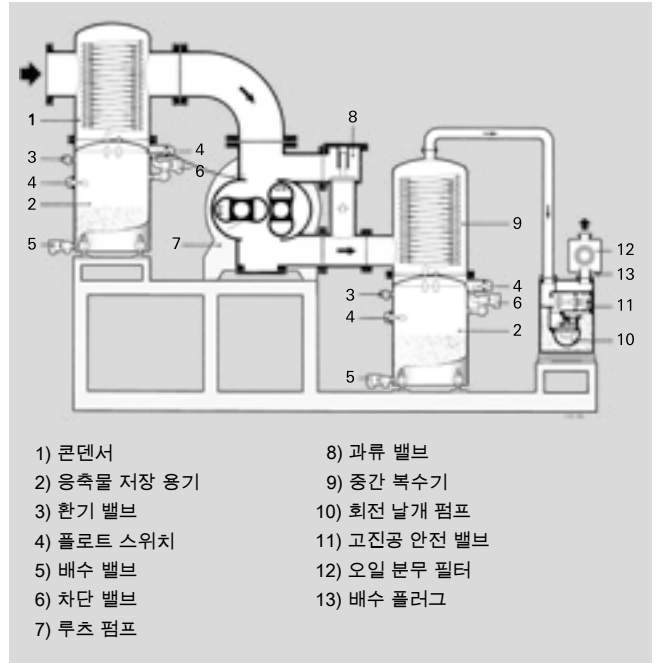


그림 2.4: 증기 응축을 위한 루츠 펌핑 스테이션

완료하려면 건조 공정의 전체 시퀀스를 다시 생각해 봐야 합니다. 평형 압력은 초기에 건조실에서 발생하는데, 이는 증발되고 있고 또 물질을 가열하여 건조함으로써 일어나는 물의 부피와 루츠 펌프의 체적 유량율로 인한 것입니다.

루츠 펌프는 수증기를 콘덴서 속으로 밀어 넣고, 거기서 수증기가 응축됩니다. 그곳에서는 종류 흐름이 우세하기 때문에 증기 흐름이 건조되어야 할 물질이 배출한 불활성 기체를 콘덴서 속으로 밀어 넣습니다.

배압 펌프가 중단될 경우 전체 응축 공정은 빠르게 중단됩니다. 왜냐하면 증기가 탈착을 통하여 응축 표면 면적에만 도달할 수 있기 때문입니다. 건조 공정이 진행되면서 증기의 부피는 줄어들고 콘덴서에서 응축되는 양이 더 적어집니다. 하지만 불활성 기체의 농도가 줄어들면 배압 펌프에 의해 추출된 증기의 농도가 더 커지는 경향이 있습니다. 콘덴서의 증기압이 농도 한계 밑으로 떨어지면 응축물은 다시 증발하기 시작합니다. 응축물이 밸브를 경유하여 응축물 저장 용기로 배수될 경우엔 이런 현상이 방지되고, 증기압이 응축 압력 아래로 떨어지면 이 밸브가 잠깁니다.

커다란 종류 시스템의 경우 배압 펌프의 펌프 속도는 응축물에 기초하여 규제되어야 합니다. 예를 들어 이런 것은 저장 용기에서 배출된 응축물의 양을 균일하게 방출하는 주입 펌프의 도움으로 이루어질 수 있습니다. 저장 용기의 응축물 수준이 주어진 수준 아래로 떨어지면 배압 펌프의 유입구 밸브가 열리고 콘덴서에 모인 불활성 기체가 배출됩니다. 응축물은 이제 다시 증가하고, 응축물 수준이 증가하고 배압 펌프의 유입구 밸브가 다시 잠깁니다. 이런 배열은 응축물이 너무 낮을 때에만 시스템이 환기되고 오직 미미한 양의 응축물만 사라짐을 의미합니다.

요약

증기를 배출할 때(건조, 증류) 콘덴서가 주요 펌프 효과를 제공할 수 있습니다. 압력 및 온도 조건에 따라 한 개 또는 두 개의 콘덴서를 사용할 수 있습니다(그림 2.4 참조). 루츠 펌프와 배압 펌프 사이에 있는 콘덴서가 더 효과적입니다. 왜냐하면 증기는 더 높은 온도와 더 높은 압력에서 콘덴서로 유입되고, 작은 배압 펌프는 오직 소량의 증기만을 환기하기 때문입니다. 증류 시 배압 펌프의 펌프 속도를 조절하면 응축물 손실을 최소화할 수 있습니다.

위에 언급한 이론적 원칙들은 루츠 펌핑 스테이션을 구성하는 데에 자주 사용됩니다. 그림 2.5는 해저 케이블 생산에 사용되는 종이 물질의 잔류 습기를 줄이기 위한 진공 솔루션을 보여줍니다. 사전 복수기(그림에 없음)는 높은 공정 압력의 1차 건조 과정에서 주로 수증기를 응축합니다. 중간 복수기는 다운스트림 BA 501 회전 날개 펌프를 보호하고 2차 건조 과정에서 주로 수증기를 응축합니다.

그림 2.6은 변압기 건조에 사용된 루츠 펌핑 스테이션을 보여줍니다. 중간 복수기는 다운스트림 BA 501 회전 날개 펌프의 수증기 용량을 초과하지 않을 정도로 사용된 물질의 잔류 습기를 줄입니다.



그림 2.5: 증기 응축을 위한 루츠 펌핑 스테이션



그림 2.6: 변압기 건조를 위한 루츠 펌핑 스테이션

2.2.3 터보 펌핑 스테이션

2.2.3.1 터보 펌핑 스테이션을 사용하여 10<sup>-8</sup> hPa로 용기 비우기

반짝이는 스테인레스강으로 만들어진 용기는 12시간 후에 10<sup>-8</sup> hPa의 압력 p<sub>b</sub>로 비워야 합니다. 1.3장에서 볼 수 있듯이, 공기로 인한 순수한 펌프-다운 시간 이외에도 고려해야 할 다른 효과들이 있습니다. 실에서의 탈기체 뿐만 아니라 수증기의 탈착과 흡착 기체가 모두 펌프 다운 시간을 연장시킵니다. 원하는 압력 10<sup>-8</sup> hPa에 도달하는데 필요한 펌프-다운 시간은 다음과 같이 구성됩니다.

- t<sub>1</sub> = 0.1 hPa에 도달하기 위한 배압 펌프의 펌프-다운 시간
- t<sub>2</sub> = 10<sup>-4</sup> hPa에 도달하기 위한 터보 펌프의 펌프-다운 시간
- t<sub>3</sub> = 스테인레스강 표면의 탈착을 위한 펌프 시간
- t<sub>4</sub> = FPM 실의 탈기체를 위한 펌프 시간

원하는 기본 압력 p<sub>b</sub>는 금속 표면 Q<sub>des,M</sub> 및 실 Q<sub>des,K</sub>에서 배출된 기체에 의해서 뿐만 아니라 누출 및 침투 Q<sub>I</sub>를 통해 기체가 용기 속으로 유입됨으로써 발생한 평형 압력으로 구성됩니다.

$$p_b = \frac{Q_I}{S} + \frac{Q_{des,M}(t_3)}{S} + \frac{Q_{des,K}(t_4)}{S}$$

공식 2-13: 진공 시스템의 기본 압력

p <sub>b</sub>	기본 압력	[Pa]
Q <sub>I</sub>	누출 및 침투를 통한 기체 흐름	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
Q <sub>des,M</sub>	금속 표면에서의 탈기체	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
Q <sub>des,K</sub>	실에서의 탈기체	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]

용기엔 다음과 같은 데이터가 기록되어 있습니다.

V	용기 부피	0.2 m <sup>3</sup>
A	용기 표면	1.88 m <sup>2</sup>
A <sub>K</sub>	FPM 실의 밀봉 표면	0.0204 m <sup>2</sup>
Q <sub>I</sub>		< 1.0 · 10 <sup>-9</sup> Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
q <sub>des,M</sub>	스테인레스강의 면적 관련 탈착률	2.7 · 10 <sup>-4</sup> Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>
q <sub>des,K</sub>	FPM의 면적 관련 탈착률	1.2 · 10 <sup>-3</sup> Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>

배압 펌프는 180 s의 t<sub>1</sub>에서 0.1 hPa로 용기를 비워야 하고, 또 기체 밸러스트 밸브를 개방한 상태에서 이런 압력에 도달할 수 있어야 합니다. 체적 유량율은 Formula 2-9에 따라 구할 수 있습니다.

$$S_{backing\ pump} = \frac{V}{t_1} \cdot \ln \frac{p_0}{p_1} = 10.2 \text{ l s}^{-1} = 36.8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

펌프 속도가 Sv = 35 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>인 Penta 35를 선택합니다.

터보 분자 펌프는 금속 표면에서 흡착 증기 및 기체를 배출하기 위하여 펌프 속도가 배압 펌프의 약 10~100배여야 합니다. 펌프 속도 S<sub>HV</sub>가 685 l s<sup>-1</sup>인 HiPace 700을 선택합니다. Formula 2-9를 사용하면 다음 공식을 구할 수 있습니다.

$$t_2 = \frac{V}{S_{turbopump}} \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} = 2.0 \text{ s}$$

**용기 표면의 탈착**

기체 분자(기본적으로 물)는 압력실의 내부 표면에 흡착하여 점차 진공 상태에서 다시 증발합니다. 금속 표면의 탈착율은  $t^{-1}$ 의 속도로 감소합니다. 시간 상수  $t_0$ 는 약 1 h입니다.

1장의 공식 1-32를 사용하여

$$Q_{des} = q_{des} \cdot A \cdot \frac{t_0}{t_3}$$

기본 압력에 도달하는 데 걸리는 시간을 계산합니다.

$$p_{b3} = 1.0 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

$$t_3 = \frac{q_{des,M} \cdot A \cdot t_0}{S \cdot p_{b3}} = 2.67 \cdot 10^6 \text{ s} = 741 \text{ h.}$$

그 결과로 나온 741시간은 너무 깁니다. 용기를 베이크 아웃 하여 공정을 단축해야 합니다. 사용된 재료 중 최고의 감온성 재료에 피해를 주지 않기 위하여 베이크-아웃 온도를 선택합니다. 예시에서는 370 K의 온도를 쉽게 견딜 수 있는 FPM 실을 사용하여 온도를 제한합니다. 탈착 속도는 이론상 한 개 이상의 1,000의 인수에 의해 결과적으로 증가합니다[22]. 그리고 베이크-아웃 시간은 사실상 몇 시간으로 단축됩니다.

높은 탈착률 역시 용기를 진공 상태에서 담금질함으로써 또는 특정 표면 처리(광택내기, 산세척)에 의하여 낮춰질 수 있습니다.

많은 전처리 영향이 어떤 역할을 하기 때문에 시간에 대한 압력 곡선의 정확한 예측이 불가능합니다. 베이크-아웃 온도가 약 150°C인 경우에도 원하는 기본 압력보다 100의 인수 더 높은 압력에 도달한 후에는 히터를 꺼도 됩니다. 원하는 압력  $p_{b3}$ 는 진공실이 냉각된 후에 도달됩니다.

**실 탈착**

10<sup>-6</sup> hPa 이하의 온도에서 작동할 경우 플라스틱의 탈기체율이 중요합니다. 실의 표면 면적이 상대적으로 작다 할지라도 탈착은 1장의 공식 1-33의 인수

$$\frac{t_0}{\sqrt{t_4}}$$

에 의해서만 감소합니다.

이 이유는 빠져나가는 기체가 표면에 묶일 뿐만 아니라 실 내부에서 확산되기 때문입니다. 펌프 시간이 연장되면 플라스틱으로부터의 탈착은 따라서 금속 표면에서의 탈착보다 더 클 수 있습니다. 플라스틱 표면의 탈기체율은 1장의 공식 1-33에 따라 계산됩니다.

$$Q_{des,K} = q_{des,K} \cdot A_d \cdot \frac{t_0}{\sqrt{t_4}}$$

$Q_{des,K} = S \cdot p_{des,K}$ 를 사용하여

$$p_{b4} = 10^{-8} \text{ hPa}; t_4 = 459 \cdot 10^6 \text{ s} = 1277 \text{ h}$$

이와 관련하여  $t_0 = 3600 \text{ s}$ 이며 연관 값  $q_{des,K}$ 는 FPM 차트 [23]에 있습니다. 냉각 상태 실의 탈착으로 일어난 펌프-다운 시간이 금속 표면의 탈착으로 일어난 펌프-다운 시간과 비슷하다고 볼 수 있습니다.

실 내부에서 배출된 기체의 확산이 시간이 지나면서 탈착 기체 흐름의 행동을 결정하기 때문에 확산 계수  $D$ 의 온도 의존성이 펌프 시간에 커다란 영향을 줍니다.

$$D = D_0 \cdot \exp\left[-\frac{E_{dif}}{R \cdot T}\right]$$

공식 2-14: 확산 계수(T)

온도가 올라가면서 확산 계수도 증가합니다. 하지만 금속 표면의 탈착률만큼 가파르게 증가하지는 않습니다. 결과적으로 탄성 중합체 실은 탈착률 때문에 기본 압력에 확실히 제한적인 영향을 미칠 수 있으므로 초고진공의 생성에 적합하지 않습니다.

**누출율과 침투율**

누출을 통하여 진공 시스템에 들어가는 기체 흐름은 일정하며, 주어진 펌프 속도에서는 압력이 다음과 같습니다.

$$p_{leak} = \frac{Q_{leak}}{S}$$

이 압력이 작동 압력의 10% 미만이면 시스템이 적절히 조여졌다고 볼 수 있습니다. 10<sup>-9</sup> Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>의 누출율은 일반적으로 도달하기가 쉽고 또 이 시스템에서 필요합니다. 이것은 누출율  $p_{leak} = 1.46 \cdot 10^{-11} \text{ hPa}$ 의 압력 구성품이 됩니다. 이 값은 변하지 않으며 문제가 되지 않습니다.

금속 벽을 통한 침투율은 이 예시에 필요한 최종 압력에 영향을 주지 않습니다. 하지만 탄성중합체 실을 통한 확산도 선택한 예시에서 기본 압력에 제한적인 영향을 줄 수 있습니다.

**요약**

최대 10<sup>-7</sup> hPa의 압력은 다른 추가 측정의 필요 없이 깨끗한 용기 속에서 약 하루면 도달할 수 있습니다.

최대 10<sup>-4</sup> hPa의 압력에 도달할 수 있다면 배압 펌프와 터보 펌프의 펌프 다운 시간도 함께 합산해야 합니다. 위에 언급한 경우에서, 이 값은 약 200 s입니다. 10<sup>-6</sup> hPa 미만의 압력에서 터보 분자 펌프는 특히 금속 벽에서 탈착된 물을 배출하기 위하여 높은 펌프 속도가 필요합니다.

이것은 단 몇 시간 이내에 요구되는 기본 압력  $p_b$  10<sup>-8</sup>hPa에 도달할 경우 진공 용기를 추가로 베이크 아웃(90~400°C)함으로써만 가능합니다. 히터는 원하는 압력 값의 100배에 도달한 후에 꺼집니다. 그러면 진공 용기가 냉각된 후에 기본 압력에 도달합니다.

10<sup>-8</sup> hPa 미만의 압력에서는 FPM 실의 높은 탈착률을 피하기 위하여 금속 실만 사용해야 합니다.

최대 10<sup>-10</sup> hPa의 압력에서는 금속 용기 속에서 누출율과 침투율을 충분히 낮게 유지할 수 있습니다.

### 2.2.3.2 터보 분자 펌프로 높은 기체 부하 펌핑

터보 펌프는 높은 기체 부하에서 높은 응력을 받을 수 있습니다. 기체 마찰이 회전을 데웁니다. 최대 기체 부하는 허용 가능한 회전 온도 120°C에 의해 제한됩니다. 이보다 높은 온도에서는 예상치 못한 시간에 회전자의 비가역 플라스틱 변형이 일어납니다.

로터 온도를 측정하여 최대 온도를 제한함으로써 펌프 속도가 > 1,000 l s<sup>-1</sup>인 HiPace 시리즈 펌프가 과열되는 것을 방지할 수 있습니다. 공정의 특성을 정확히 파악하면 많은 펌프에 대한 회전 온도 측정하여 안전한 작동 및 장기 안정성을 위한 공정 창을 정의할 수 있습니다.

높은 기체 부하에 대한 터보 펌프의 적합성은 펌프의 온도 개조에 대한 정확한 제어 뿐만 아니라 회전자 및 고정자 디자인에 의해 영향을 받을 수 있습니다. 예를 들어 ATH-M 시리즈 펌프는 분명히 높은 기체 처리량 및 상대적으로 높은 공정 압력을 위하여 설계되었습니다. 이 터보 펌프는 특히 반도체 산업의 코팅 및 건조 에칭 공정을 위하여 개발되었습니다. 이 펌프들의 특정한 문제점은 부식성 매질의 펌핑, 공정 화학 물질 또는 2차 제품의 응축을 방지하기 위한 펌프의 가열된 사용, 그리고 특히 무거운 기체에 대한 높은 공정 기체 처리량입니다. 이런 개발품은 태양광 및 LED 조명 산업 어플리케이션에도 사용할 수 있습니다. 이런 터보 펌프 설계로 인해 이런 개발을 냉각수 온도가 높은 산업 작동 조건 하에서 뿐만 아니라 배압 펌프와 터보 펌프 사이의 높은 전달 압력으로 부하 랙에서 사용할 수 있습니다.

높은 압축비로 인해 가벼운 기체에 적합한 낮은 압력을 생성하기 위하여 특히 설계된 펌프들도 높은 기체 처리량을 가진 진공 공정에 제한적으로 사용할 수 있습니다. 마찰력이 주변 속도에 비례하기 때문에 높은 기체 부하에서 작동하는 펌프들의 RPM을 줄일 필요가 있습니다. 이는 더 높은 기체 부하는 펌프 속도를 높임으로써 특히 압축비가 높을 때 도달되는 것입니다. 이 측정치는 펌프의 공정 창을 연장할 수 있습니다.

크립톤 또는 크세논과 같은 무거운 주요 기체의 펌핑은 특히 중요합니다. 높은 원자량 때문에 무거운 주요 기체들은 회전을 때릴 때 굉장히 많은 양의 열을 생성합니다. 특히 낮은 열 용량의 결과로 이 기체들은 고정자 또는 하우징에 무척 낮은 열만을 전달하며, 그 결과 회전자 온도가 높아집니다. 이 기체들의 최대 기체 처리량은 따라서 기체 분자 또는 더 낮은 질량(예: 더 높은 이동성 및 충돌 빈도)의 당원자 기체에 비해 상대적으로 더 낮습니다.

공정 기체로 작동할 때 터보 펌프는 두 가지 중요한 기능을 수행합니다.

- 처리실을 낮은 압력으로 빠르게 비우기(표면 및 접착 기면의 기체 제거를 통한 깨끗한 초기 조건)
- 진공 공정(코팅, 에칭 등) 동안 일정한 수준으로 원하는 압력 유지하기

기체 처리량  $Q$ 와 공정 동안 작동 압력  $p_{process}$ 는 대체로 지정되며, 마찬가지로 처리실의 체적 유량율도 지정됩니다.

$$S = \frac{Q}{p_{process}}$$

터보 펌프는 요구되는 기체 처리량을 기초로 선택합니다. 다양한 기체에 대한 최대 허용 가능 기체 처리량은 카탈로그의 각 펌프에 지정되어 있습니다.

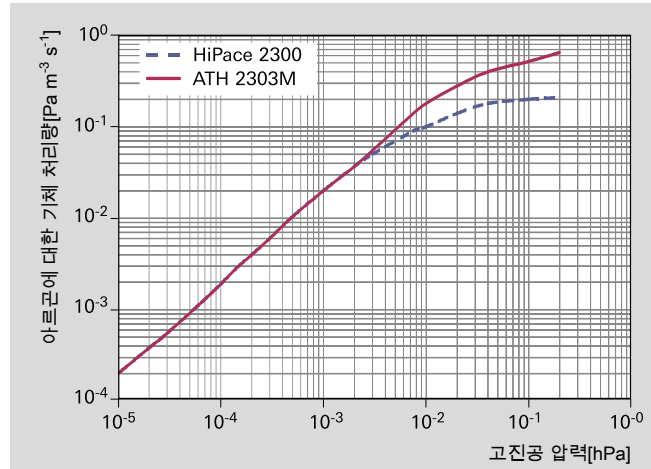


그림 2.7: 높은 공정 압력에서 서로 다른 터보 펌프의 기체 처리량

그림 2.7에 NW 250 플랜지가 있는 서로 다른 터보 펌프에 대한 기체 처리량 그래프가 나와 있습니다. ATH 2303용 배압 펌프는 반도체 산업에서 사용되는 일반 공정-가능 루츠 펌핑 스테이션에서 온 것입니다. 처리량은 두 펌프가 같습니다. 왜냐하면 동일한 기체 흐름이 두 펌프를 계속 통과하기 때문입니다.

$$S_{fore-vacuum} = \frac{Q}{p_{fore-vacuum}}$$

배압 펌프의 선택은 터보 펌프의 온도 균형에 영향을 줍니다. 배압 펌프의 펌프 속도가 정확히 자체 기체 처리량을 갖춘 터보 펌프의 최대 전진공 호환성에 도달하기 위하여 설계된다면, 터보 펌프 회전자는 열 부하됩니다. 터보 펌프에서 기체 마찰과 열 부하를 줄이려면 펌프 속도가 더 높은 배압 펌프를 선택해야 합니다.

처리실의 펌프 속도는 RPM 또는 조절 밸브를 통해서 요구되는 수준으로 제한됩니다. 터보 펌프의 회전 속도를 사용한 압력 조절은 회전 속도의 더 빠른 변형을 방지하는 회전자의 높은 관성에 의하여 제한됩니다. 일부 공정 창에서 배압 펌프의 회전 속도를 조절함으로써 압력을 제어하는 것이 가능합니다.

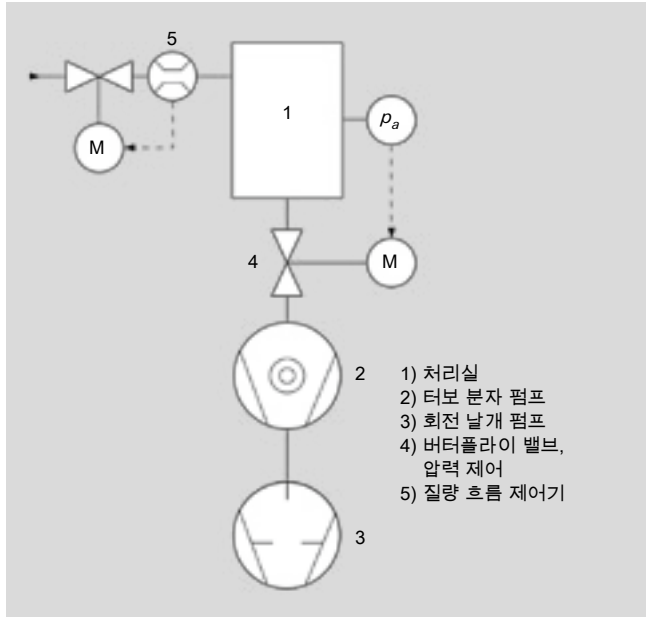


그림 2.8: 압력 및 처리량 조절이 가능한 진공 시스템

그림 2.8에 나와 있는 진공 공정 시스템을 예로 들어 봅시다. 매개변수

$$Q = 3.0 \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}, \text{ 공정 기체 아르곤}$$

$$p_{process} = 5 \text{ hPa}$$

$$S = \text{이면}, \frac{Q}{p_{process}}$$

터보 펌프의 공칭 펌프 속도는  $600 \text{ l s}^{-1}$ 입니다. 이 높은 공정 압력에서는 터보 펌프의 최대 펌프 속도에 도달하는 것이 불가능합니다. 그러므로 이 압력에서 스플린터 실드를 갖추고  $800 \text{ l/s}$  이상의 펌프 속도에 도달할 수 있는 ATH 2303 M 유형의 터보 펌프(2)와 A 603 P 유형의 배압 펌프를 선택합니다. 이 공정 펌프로  $0.24 \text{ hPa m}^3 \text{ s}^{-1}$ 의 기체 처리량을 갖춘  $3.0 \text{ Pa}$ 의 전진공 압력에 도달합니다. 터보 펌프의 최대 전진공 압력이  $3.3 \text{ hPa}$ 이면, 이 구성은 열을 요구하는 공정 기체 아르곤이 있음에도 불구하고 보수적입니다.

공정 기체는 질량 흐름 제어기(5)를 경유하여 챔버(1)로 유입됩니다. 압력  $p_{process}$ 에 의해 제어되는 버터플라이 밸브(4)는 터보 펌프(2)의 펌프 속도를 조절합니다. 공정 단계가 끝난 후엔 기체 공급이 닫히고 제어 밸브가 완전히 열려 최종 압력에 도달할 때까지 챔버를 비웁니다. 이 과정에서 새 공작물이 처리실로 로드됩니다. 부식성 및 연마성 물질 뿐만 아니라 높은 기체 부하 펌핑과 관련된 더 자세한 정보는 4.10.2장을 참조하십시오.

## 2.3 배관 전도성

용기의 펌프-다운 시간을 계산할 때 터보 펌핑 스테이션 뿐만 아니라 루츠 펌핑 스테이션에 대해서도 분명히 배관 저항이 있습니다. 하지만 용기와 펌프 사이에 배관이 있어 효과적인 펌프 속도를 줄이기 때문에 이것은 일반적으로 받아들일 수 없는 단순화입니다.

### 2.3.1 층류 전도도

건조 시스템의 펌핑 스테이션(그림 2.3)을 고려하여 콘덴서와 배압 펌프 사이의 압력을 계산해봅시다. 이 경우  $4,285 \text{ Pa}$ 의 압력과  $4,285 \text{ Pa}$ 의 펌프 속도 때문에 배압 펌프의  $S_v$ 는  $107 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 2.97 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 로, 기체 처리량은  $Q = 4,285 \cdot 2.97 \cdot 10^{-2} = 127 \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$ 으로 지정됩니다. DN 63 배관의 내부 직경은  $0.07 \text{ m}$ 이고 길이는  $2 \text{ m}$ 입니다. 각각 똑같은  $0.2 \text{ m}$  길이의 2 개의  $90^\circ$  굽은 파이프 역시 고려 대상입니다.

1장의 표 1.5에 따라 펌프 유입구 압력  $4,285 \text{ Pa}$ 과  $\bar{l} \cdot p$ 에 대한 기체 값  $6.7 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}$ 로  $1.56 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ 의 평균 자유 경로를 구할 수 있습니다. 흐름 범위를 결정하기 위하여 크누센 수, 공식 1-13을 사용하면 다음 공식을 구할 수 있습니다.

$$K_n = \frac{\bar{l}}{d} = 2.23 \cdot 10^{-2}$$

$K_n$ 이  $0.01$  미만이므로 점성 흐름입니다. 이것은 층류 또는 난류가 될 수 있습니다. 층류 흐름에서 전도도는 난류 흐름보다 훨씬 더 높는데, 이는 훨씬 더 낮은 부피 흐름 손실이 일어남을 의미합니다.

레이놀드 수  $Re$ 는 층류 흐름이  $2,300$  미만이어야 합니다. 레이놀드 수를 계산하기 위하여 먼저 배관의 흐름 속도  $v$ 를 결정합니다.

$$v = \frac{4 \cdot S_v}{d^2 \cdot \pi} = 8.66 \text{ m s}^{-1}$$

그리고 대기압 상태에서 공기 밀도  $\rho_0 = 1,293 \text{ kg m}^{-3}$ 일 때  $4,285 \text{ Pa}$ 에서 공기의 밀도  $\rho$ 를 결정합니다.

$$\rho = \frac{1,293 \cdot 4,285}{101,325} = 5.47 \cdot 10^{-2} \text{ kg m}^{-3}$$

그리고 공식 1-14에 따라 공기의 동점성이  $18.2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 일 때 다음과 같은 공식을 구할 수 있습니다.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta} = 1,820$$

예: 층류 흐름

배관의 유입구 압력을 구하기 위하여 1장  $p_1$ 의 공식 1-26을 사용합니다.

$$C_{pipe, lam} = \frac{\pi \cdot d^4}{256 \cdot \eta \cdot l} \cdot (p_1 + p_2) = \frac{\pi \cdot d^4}{228 \cdot \eta \cdot l} \cdot p^-$$

기체 처리량을 구하기 위하여  $\Delta p = p_1 - p_2$ 를 곱합니다.

$$Q = C_{pipe, lam} \cdot \Delta p = \frac{\pi \cdot d^4}{256 \cdot \eta \cdot l} \cdot (p_1^2 - p_2^2)$$

$p_2 = 4,285 \text{ Pa}$ 이고  $Q = 127 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이므로 이 값에서 직접  $p_1$ 을 결정할 수 있습니다.

$$p_1 = q_{diff} \cdot A_d \cdot \sqrt{p_2^2 + \frac{Q \cdot 256 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot d^4}} = 4,287.2 \text{ Pa}$$

매우 낮은 값인 단 2.2 Pa의 압력 손실이 발생합니다.

배관의 전도성은 1장의 공식 1-18에서 구합니다.

$$C = \frac{Q}{\Delta p} = 58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ or } 58,000 \text{ ls}^{-1}$$

효과적인 체적 유량을

$$S_{eff} = \frac{S_v \cdot C_{pipe, lam}}{S_v + C_{pipe, lam}} = 2.9707 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

은 배관 없는 체적 유량보다 조금 낮을 뿐입니다.  $S_v$ 는  $2.9222 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 입니다.

### 2.3.2 분자 전도도

분자 흐름 범위에서 동일한 배관의 전도도에 대해서도 생각 해봅시다. 배관은 직경이 0.07 m이고 길이가 2 m입니다. 2 개의 90° 굽은 파이프의 연장된 길이는 각각 0.235이고 그래서 총 길이는  $l = 2.47 \text{ m}$ 입니다. 1장의 공식 1-30에 따르면 배관 저항은 다음과 같습니다.

$$L_{Rm} = \frac{\bar{c} \cdot \pi \cdot d^3}{12 \cdot l} = 1.71 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$T = 293 \text{ K}$ 의 공기에서  $\bar{c} = 471 \text{ m s}^{-1}$ 입니다. 파이프 유입구의 구멍 전도성은 이미 고려되었습니다.

효과적인 체적 유량은 다음 공식으로 구합니다.

$$S_{eff} = \frac{S_v \cdot L_{Rm}}{S_v + L_{Rm}} = 1.09 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ where } S_v = 2.97 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

분자 흐름 범위에서 배압 펌프의 펌프 속도는 거의 3분의 1로 줄어듭니다. 이 범위에서는 펌프와 진공실 사이의 쇼트 런과 커다란 배관 횡단면에 특히 주의를 기울여야 합니다. 이 점은 특히 진공실에 직접 이상적으로 플랜지되어야 하는 터보 펌프에 적용됩니다.

## 3 진공의 기계적 구성품

### 3.1 일반

진공 시스템에는 챔버, 펌프, 측정 계기, 구성품, 밸브, 피드 스루, 조작기 처럼 함께 결합하여 하나의 단위를 구성하는 서로 다른 많은 구성품이 포함됩니다. 실이 장착된 분리형 연결과 비분리형 연결은 구분되어 있습니다. 다음 섹션에서는 진공 기술에서 사용되는 재료, 다양한 유형의 연결, 기계적 구성품에 대해 설명합니다. 이는 설계 및 선택 시 무엇을 조심해야 하는지를 보여줍니다.

### 3.2 재료

진공 기술에서는 모든 재료에 대한 요구조건이 무척 다양합니다. 어플리케이션, 주위의 조건, 도달해야 할 진공에 따라 재료가 어떤 요구조건을 충족시켜야 하는지를 검사해야 합니다.

아래에 고려해야 할 중요한 요구조건이 나와 있습니다.

- **전체 작업 온도 범위에 걸친 충분한 기계적 강도:**  
구조적 완전함 이외에 가동되는 표면의 변형이 기능에 영향을 주지 않는지 확인해야 합니다. 예: 빈 챔버 구성품에 대한 대기압은 약  $10 \text{ N/cm}^2$ 입니다.  $1 \text{ m}^2$  면적에서는 대기압이  $100,000 \text{ N}$ 의 힘으로 나타납니다.
- **높은 기체 기밀:**  
각 재료는 기본적으로 기체가 침투할 수 있습니다. 기체 침투성의 전체 공정을 침투라 부릅니다. 이것은 재료, 기체의 유형, 주변 조건 특히 온도에 따라 달라집니다. 침투성은 탄성 중합체 실을 사용하여 판단해야 합니다. 예: DN 500 ISO-K의 FKM(불소 탄성 중합체) 실의 경우 60% 습도의 대기에 대한 침투율은 약  $4 \cdot 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 입니다. 따라서 FKM 실이 있는 일반 진공 시스템은  $1 \cdot 10^{-8} \text{ hPa}$  이상의 작동 압력에 도달하는 경우가 드뭅니다.
- **낮은 내재 증기압, 높은 용융점과 비등점:**  
너무 높은 내재 증기압은 최종 진공 압력을 제한합니다. 오일과 그리스의 진공 호환성 이외에도 금속의 내재 증기압 또는 합금의 분압이 합금에서 고려되어야 합니다. 예: 황동의 경우 아연의 분압은 약  $100^\circ\text{C}$ 의 고진공 상태에서 최대 허용 가능 온도로 제한됩니다.

- **깨끗한 표면, 외부 기체의 낮은 함량, 쉬운 기체 제거:**  
깨끗한 표면이 전제 조건입니다. 하지만 주변 공기에 노출된 모든 표면은 흡착된 층으로 코팅됩니다. 표면 위 또는 재료의 부피 속에 화학적으로 또는 물리적으로 흡착된 분자는 일단 탈착되면(표면에서 분리되면) 기체의 소스를 대표합니다. 낮은 최종 압력에 도달하려면 탈착률이 낮은 재료를 사용해야 합니다. 예: 흡착된 기체의 단층은 대략  $4 \cdot 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{m}^2$ 의 기체 양과 같습니다. 양쪽 끝에 가까운 직경 50cm 길이 100cm(표면 면적이 약  $2 \text{ m}^2$ , 부피가 약 200 l)인 파이프를 고려하면, 단층의 방출은 약  $0.4 \text{ Pa}$  또는  $4 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$ 의 압력 상승을 일으킵니다. 이것은 표면이 항상 기하학적 면적보다 더 크다는 사실을 고려하지 않습니다.
- **양호한 열 충격 저항, 조정된 확장 행동:**  
예: 서로 다른 열 팽창은 알루미늄 실과 스테인레스강 플랜지의 결합에 대한 최대 허용 가능 온도를 약  $150^\circ\text{C}$ 로 제한합니다. 너무 높은 온도에 도달한 후에는 냉각 도중에 종종 밀봉 효과의 저하가 나타납니다.
- **부식 저항, 화학적 저항:**  
예: 많은 코팅 공정은 화학적으로 활발한 공정 기체를 요구합니다. 그러므로 유체가 구성품이나 실에 영향을 주는지 아닌지를 고려할 필요가 있습니다. 특히 금속 벨로우즈처럼 벽이 얇은 구성품은 부식에 취약합니다. 필요할 경우 테스트 시 사용 수명을 결정해야 합니다.

특별한 어플리케이션이 재료에 대한 추가 요구를 할 수도 있습니다.

일반 규칙: 원하는 작동 압력이 낮을수록 재료에 대한 요구가 더 크고 선택 가능한 재료가 더 적어집니다. 그러므로 특히 UHV(초고진공) 기술에서는 재료의 선택이 대단히 중요합니다.

#### 3.2.1 금속재

많은 금속 및 금속 합금은 강도가 높고, 처리 및 청소가 쉬우며, 온도 저항적이고 유리보다 기계적 영향에 덜 민감합니다. 재료의 가격 또는 가용성과 같은 경제적 측면을 고려하면 기계적 구성품 재료로 특히 스테인레스강, 탄소강, 알루미늄 합금을 선택하게 됩니다.



3.2.1.1 스테인레스강

스테인레스강은 진공 기술의 챔버 또는 구성품을 구성할 때 선호하는 재료입니다. 스테인레스강은 플랜지 연결 시 심지어 베이크-아웃 과정에서 충분한 강도를 가집니다. 스테인레스강은 진공 밀폐 상태가 되도록, 표면에 보호막이 충분히 잘 씌워지도록 그래서 많은 어플리케이션에 충분한 보호를 제공하도록 용접할 수 있습니다. 다음 표에는 진공 기술에서 일반적으로 사용하는 스테인레스강의 화학적 구성 및 속성이 나와 있습니다.

유럽 철강 번호는 미국철강협회(AISI)의 비교 가능한 재료 지정과 자주 교대로 사용됩니다. 예를 들어 유럽 철강 번호 1.4301은 미국의 304와, 1.4307과 1.4306은 304L과, 1.4404 및 1.4435는 316L과, 1.4429는 316LN과 교체 가능합니다. 하지만 재료는 오직 대략적으로만 비교가 가능합니다. 진공 어플리케이션의 차이는 그다지 중요하지 않습니다. 하지만 특별한 요구조건이 있을 경우엔 각각의 개별 경우에 따라 상

호 교체 가능성을 평가해야 합니다. 예: 재료 1.4301이 어떤 구성품에 필요할 경우 일반적으로 그와 연관된 재료 증명서가 있어야 합니다. 증명서에 재료 304만 나와 있으면 요구조건은 충족되지 않습니다. 여기서는 증명서의 지정이 중요합니다. 각각의 재료 사양이 충족되면 제조업체에서도 반제품을 여러 가지 지정과 함께 인증할 수 있습니다. 어떤 재료가 1.4301, 1.4307, 304 및 304L이 되는 것으로 인증될 경우엔 훨씬 다양한 사용이 가능합니다.

예를 들어, 시스템을 수용할 때 문제를 피하려면 반제품이나 구성품을 요청할 때 재료와 재료의 인증에 대한 요구를 우선 정의해야 합니다. 이후의 증명서는 특별한 요구조건이 있을 때, 예를 들어 특별한 기계적 속성, 화학적 구성의 제한 또는 AD 2000 W2(Working Group for Pressure Vessels 2000 date sheet W2, “압력 용기용 재료”)나 미국기계학회(ASME)의 인증 문제 때문에, 종종 인정되지 않습니다.

재료 번호	C [≤ %]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Other	Si [≤ %]	Mn [≤ %]	S [≤ %]
1.4301	0.07	17.5 – 19.5	8.0 – 10.5	–	N ≤ 0.11	1.0	2.0	0.015
1.4305	0.10	17.0 – 19.0	8.0 – 10.0	–	N ≤ 0.11, Cu ≤ 1	1.0	2.0	0.15 – 0.35
1.4306	0.03	18.0 – 20.0	10.0 – 12.0	–	N ≤ 0.11	1.0	2.0	0.015
1.4307	0.03	17.5 – 19.5	8.0 – 10.5	–	N ≤ 0.11	1.0	2.0	0.015
1.4401	0.07	16.5 – 18.5	10.0 – 13.0	2.0 – 2.5	N ≤ 0.11	1.0	2.0	0.015
1.4404	0.03	16.5 – 18.5	10.0 – 13.0	2.0 – 2.5	N ≤ 0.11	1.0	2.0	0.015
1.4429	0.03	16.5 – 18.5	11.0 – 14.0	2.5 – 3	N 0.12 – 0.22	1.0	2.0	0.015
1.4435	0.03	17.0 – 19.0	12.5 – 15.0	2.5 – 3	N ≤ 0.11	1.0	2.0	0.015
1.4571	0.08	16.5 – 18.5	10.5 – 13.5	2 – 2.5	Ti 5 × C ≤ 0.7	1.0	2.0	0.015

표 3.1: EN 10088 파트 1의 유럽 재료 지정에 따른 스테인레스강의 화학적 구성(질량 부분)

AISI 번호	C [≤ %]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Other	Si [≤ %]	Mn [≤ %]	S [≤ %]
304	0.08	18.0 – 20.0	8.0 – 10.5	–	N ≤ 0.1	0.75	2.0	0.03
304L	0.03	18.0 – 20.0	8.0 – 12.0	–	N ≤ 0.1	0.75	2.0	0.03
316	0.08	16.0 – 18.0	10.0 – 14.0	2.0 – 3.0	N ≤ 0.1	0.75	2.0	0.03
316L	0.03	16.0 – 18.0	10.0 – 14.0	2.0 – 3.0	N ≤ 0.1	0.75	2.0	0.03
316LN	0.03	16.0 – 18.0	10.0 – 14.0	2.0 – 3.0	N 0.10 – 0.16	0.75	2.0	0.03

표 3.2: 미국철강협회(AISI)의 재료 지정에 따른 스테인레스강의 화학적 구성(질량 부분)

재료 번호	20°C에서 0.2% 항복점 R <sub>p0.2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	300°C에서 0.2% 항복점 R <sub>p0.2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	20°C에서 인장 강도 R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	20°C~300°C의 열 팽창 [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	공기에 대한 작동 온도[°C]	미세 구조	자기화성
1.4301	≥ 190	≥ 110	500 – 700	17.0	300	오스테나이트(아철산염 함유, 해당될 경우)	있음 <sup>1)</sup>
1.4306	≥ 180	≥ 100	460 – 680	17.0	350	오스테나이트(아철산염 함유, 해당될 경우)	있음 <sup>1)</sup>
1.4307	≥ 175	≥ 100	500 – 700	17.0	350	오스테나이트(아철산염 함유, 해당될 경우)	있음 <sup>1)</sup>
1.4401	≥ 200	≥ 127	500 – 700	17.0	300	오스테나이트(아철산염 함유, 해당될 경우)	별로 없음 <sup>1)</sup>
1.4404	≥ 200	≥ 119	500 – 700	17.0	400	오스테나이트(아철산염 함유, 해당될 경우)	별로 없음 <sup>1)</sup>
1.4429	≥ 280	≥ 155	580 – 800	17.0	400	오스테나이트	거의 없음 <sup>2)</sup>
1.4435	≥ 200	≥ 119	500 – 700	17.0	400	오스테나이트	거의 없음 <sup>2)</sup>
1.4571	≥ 200	≥ 145	500 – 700	18.0	400	오스테나이트(아철산염 함유, 해당될 경우)	있음 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 담금질된 조건에서 약간의 자기성이 있을 수 있음. 자기화성은 변형 경화가 증가하면 함께 증가함.

<sup>2)</sup> 변형 경화가 증가하면 약간의 자기성이 있을 수 있음.

표 3.3: 스테인레스강 속성

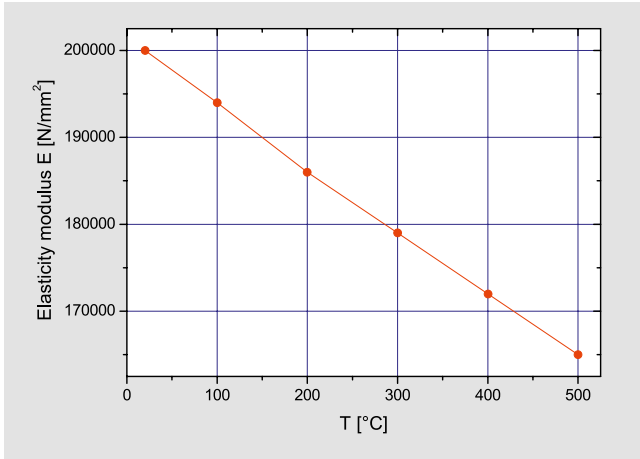


그림 3.1: 오스테나이트 스테인레스강 탄성 모듈의 온도 의존성

**스테인레스강 1.4301:** 가장 빈번하게 사용되는 크롬-니켈강. 뛰어난 저온 형성, 용접 및 광택내기 속성. 많은 어플리케이션에 대한 충분한 내부식성. 진공 어플리케이션에 적합. 플랜지, 파이프 구성품 및 챔버에 사용.

**스테인레스강 1.4305:** 황 함유로 절삭성(강철 가공)을 향상시킨 1.4301의 변형. 1.4301보다 더 낮은 내부식성. 용접 불가. 진공 어플리케이션에 충분히 적합. 센터링 링과 같은 회전 및 밀링 부품에서 부분적으로 사용.

**스테인레스강 1.4307, 1.4306:** 1.4301의 저탄소 변형. 저탄소 함량으로 용접 가능하지만 입간 부식성의 영향을 받지 않음. 1.4301보다 강도가 조금 낮음. 진공 어플리케이션에 매우 적합. 무척 낮은 탄소 함량을 요구하는 사용에 적합(예: CF 플랜지). 더 높은 크롬 및 니켈 함량과 관련된 이점이 종종 더 높은 구입 비용을 정당화하기에 충분치 않기 때문에 1.4307이 점점 1.4306을 대체하는 중입니다.

**스테인레스강 1.4401:** 뛰어난 저온 형성 속성. 양호한 용접성과 연마성. 몰리브덴 첨가물 때문에 비산화성 산과 염화물 이온 함유 매질에 대한 저항력이 1.4301보다 더 큼. 진공 어플리케이션에 적합. 예를 들어 부식성에 대해 더 큰 보호를 요구하는 영역에서 또는 옥내 음용수 시스템에서 밸브 하우징에 사용.

**스테인레스강 1.4404:** 1.4401의 저탄소 변형. 저탄소 함량으로 용접 가능하지만 입간 부식성의 영향을 받지 않음. 진공 어플리케이션에 매우 적합. 예를 들어 반도체 산업에서 파이프 및 플랜지 구성품을 위해 무척 낮은 탄소 함량이나 더 큰 내부식성이 요구될 때 사용됩니다.

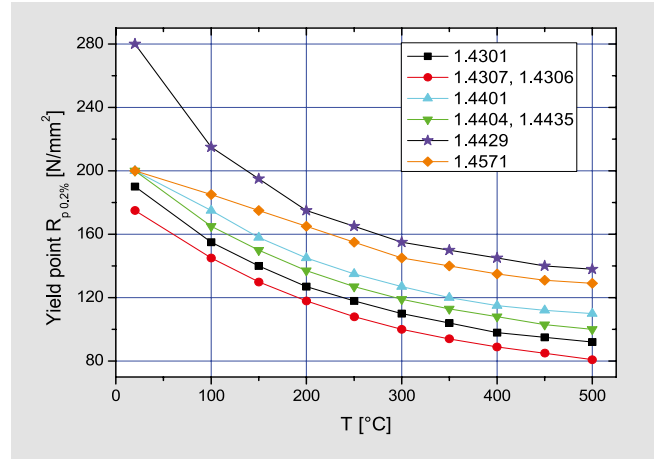


그림 3.2: 오스테나이트 스테인레스강의 0.2% 항복점의 온도 의존성

**스테인레스강 1.4435:** 1.4404보다 더 큰 니켈 함량이 오스테나이트 구조를 안정시키고, 델타 아철산염의 형성을 감소시키고, 그래서 용접된 이음매 영역에서도 자기화 현상이 거의 일어나지 않습니다. 몰리브덴 첨가물의 증가로 비산화성 산과 염화물 이온 함유 매질에 대한 저항력이 1.4404보다 더 큼. 진공 어플리케이션에 매우 적합. Basel Standard 2(BN2)에 따르면, 더 높은 분석적 제한을 설정하여 허용 가능한 아철산염 함유량을 규정하고 있는 제약 산업에서 종종 사용됩니다.

**스테인레스강 1.4429:** 1.4435와 유사한 특징을 갖지만 높은 질소 함량 때문에 강도가 더 션. 오스테나이트 구조를 안정시킴으로써 델타 아철산염과 자기화의 형성을 최소화합니다. 진공 어플리케이션에 매우 적합. 특히 높은 온도에서 청소 또는 자기 소거를 위한 진공 담금질이 발생할 때, CF flanges에 사용됩니다. 1.4429에서 튜브 및 판금 가공성은 낮습니다. 따라서 챔버 또는 1.4429의 구성품 플랜지는 종종 1.4404 또는 1.4307로 만들어진 반제품과 결합합니다.

**스테인레스강 1.4429 ESR:** 1.4429와 속성이 동일하지만 일렉트로 슬래그 재용해법(ESR) 처리로 인해 미세 구조가 향상되었고 순도가 더 높아짐. 진공 어플리케이션에 특히 적합. 높은 화학적 순도 및 구조적 균질성과 결합하여 커다란 강도 및 최소 자기화성을 보여주는 최고급 품질의 CF 플랜지에 사용됩니다.

**스테인레스강 1.4571:** 높은 가공성을 가진 클래식한 "V4A" 강철. 티타늄으로 안정되었으므로 입간 부식성의 영향 없이 용접 가능. 티타늄 탄화물 구조이므로 1.4401과 속성이 유사하지만 적절한 연마만 가능하고 전자 연마에 적합하지 않습니다. 진공 어플리케이션에 적합. 예를 들어 더 큰 내부식성이 요구되는 배관 및 장치 구성에 사용.

**ESR (일렉트로 슬래그 재용해법):** 높은 화학적 구조적 순도를 가진 밀도 높고 분리성 낮은 스테인레스강이 ESR 공정을 통해 제어되고 재생 가능한 조건에서 생산됩니다. 1차 용융 블록이 ESR 용광로 속에서 전기적으로 재용융됩니다. 한 개의 전주는 1차 블록 위에 있고, 다른 한 개의 전주는 수냉도 가니의 바닥에 있습니다. 슬래그는 전주 사이에 있으며 스테인레스강의 용융 온도 이상의 저항 가열에 의하여 가열됩니다. 액체 슬래그와 접촉 시 비금속 불순물에서 씻겨 나오는 금속 방울들이 1차 블록의 바닥에서 계속 배출됩니다. 거친 함유물들이 슬래그를 통과하면서 거의 완전히 사라집니다. 남아 있는 함유물들은 작고, 2차 블록 위에 거의 균일하게 분포되어 있습니다. ESR 공정에서 깨끗해진 스테인레스강은 밀도와 균질성이 극히 높은 것이 특징입니다.

오스테나이트강은 용접성이 양호하고 완전 오스테나이트로써 비자성입니다. 담금질된 상태에서는 극저온에서도 매우 높은 인성 값을 유지하는 것이 특징입니다. 특히 탄소 함량이 더 높을 때는 작업 경화 능력이 높은 경향이 있습니다. 미세 구조의 부품들은 변형 마르텐사이트로 바뀔 수 있습니다. 완전 오스테나이트강은 용접 시 고온 균열 형성의 영향을 받을 수 있습니다. 많은 오스테나이트 재료에서는 10% 이상의 델타 아철산염 함량이 용접 금속 내에서 생성되는 방식으로 화학적 구성이 조정되는데, 그 결과 고온 균열의 영향이 감소합니다. 그러므로 오스테나이트로 설명되는 많은 강철은 기계적 또는 열적 처리에 따라 구조 내에 아철산염 또는 마르텐사이트 함량을 포함할 수 있습니다.

**자기화성:** 완전 오스테나이트 미세 구조는 자성이 아닙니다. 미세 구조의 구성품들이 변형 마르텐사이트 또는 델타 아철산염의 형성으로 전환되었다고 앞에서 설명했지만, 오스테나이트로 지정된 강철들조차도 가벼운 자성을 띌 수 있습니다. 왜냐하면 마르텐사이트와 아철산염은 둘 다 자기화할 수 있기 때문입니다. 용체화 처리를 통하여 저온 작업 경화 그리고 마르텐사이트가 줄어들거나 심지어 역전될 수 있습니다. 미세 구조의 델타 아철산염 구성품은 반드시 오스테나이트 형성자 니켈, 탄소, 질소, 망간에 대한 아철산염 형성자 크롬, 몰리브덴, 실리콘, 니오븀의 비율에 의존합니다. 아철산염 함량은 열처리를 통하여 부분적으로 줄어 들 수 있고 따라서 자기화성을 줄일 수 있습니다. 동일한 재료 지정을 가진 스테인레스강은 설명된 제한 내에서 서로 다른 화학적 구성을 가질 수 있기 때문에 자기화성은 고정된 것이 아닙니다. DeLong의 다이어그램에 아철산염 형성자의 크롬 등가물에 대한 오스테나이트 형성자의 니켈 당량을 표시하면 오스테나이트 및 아철산염 함량을 알 수 있습니다. 그림 3.3에 일부 스테인

레스강에 대한 크롬 및 니켈 당량의 영역(색칠해진 사각형)이 나와 있고 그 평균 당량이 아이콘으로 표시되었습니다. 안정화 스테인레스강에는 용접 시 배출되는 탄소를 경화시켜 크롬 탄화물의 형성을 방지하는 티타늄과 니오븀이 포함되어 있습니다. 크롬 탄화물의 형성은 입계에서 크롬의 소모를 이끌고 재료가 입간 부식성의 영향을 받게 할 수 있습니다. 용접된 구조일 경우, 최소한의 강판 두께가 약 6mm 이상인 저탄소( $C \leq 0.03\%$ ) 또는 안정화 스테인레스강을 사용해야 합니다. 티타늄 탄화물은 연마성을 심히 제한합니다.

**열 처리:** 오스테나이트 스테인레스강의 용체화 처리 온도는 약 1,050°C입니다. 처음에 600°C에서 800°C 사이의 온도 범위에서 발생하여 입간 부식성과 비교되는 손상에 이르는 크롬 탄화물 형성의 위험 때문에 900°C에서 500°C 사이의 온도 범위를 빠르게 통과해야 합니다. 최종 진공 구성품은 950°C~1,100°C 온도 범위의 진공 상태에서 담금질할 수 있습니다. 특히 표면에서는 잔류 탄화수소가 제거되지만(정제 담금질), 부피에 결합된 수소는 탈기체화하고(낮은 수소 담금질), 자기화성은 감소합니다(탈자기화 담금질). 또한 기존의 모든 크롬 탄화물은 용해되고(용체화 처리) 처리 결과 재료의 응력은 줄어듭니다(무응력 담금질). 하지만 열 처리 역시 기계적으로 이점이 있는 경화를 줄입니다. 금속 밀봉 플랜지를 이용한 담금질은 절삭 면적에서 재료 경화의 원치 않는 감소를 이끌 수 있습니다. 금속 실을 사용하면 칼날이 문드러져서 그 기능을 잃을 수 있습니다. 따라서 담금질 처리에는 플랜지 재료 1.4429 ESR을 권장합니다. 예외적인 경화는 충분히 단단한 칼날을 보장합니다.

**부식성:** 부식은 다양한 원인에 의존합니다. 따라서 저항에 대한 정보는 오직 지시값만 있으며 일반 정보에 불과합니다. 부식은 스테인레스강의 선택을 쉽게 해주지만 실제 작동 조건에 적용 가능한 것이 아니기 때문에 품질 보증을 구성하지는 않습니다. 예를 들어 표면에 가해진 기계적 응력과 손상 뿐만 아니라 높아진 온도와 농도는 모두 부식을 가속하는 효과가 있습니다. 게다가 산소 부족은 보호막을 씌우는 크롬 산화물 층의 재형성을 막아 방식을 부족하게 만듭니다. 또 불순물이 부식을 촉진할 수 있습니다. 실제로 침식, 틈, 응력 균열 부식을 일으키는 것은 일반적으로 염화물 이온과 다른 할로젠화물입니다. 수동적인 층은 그 결과로써 국부적으로 파열되고 부식이 국부적으로 계속됩니다. 특히 벨로우즈처럼 벽이 얇은 구성품은 이런 식의 부식에 취약합니다. 필요할 경우 테스트 시 사용 수명을 결정해야 합니다. 또한 냉각수는 구성품에 과소평가해서는 안 될 위험을 제공합니다. 물로 둘러싸인 표면은 충분한 보호막을 가져야 하고, 냉각수는 제조업체가 지정한 특징을 갖고 있어야 합니다.

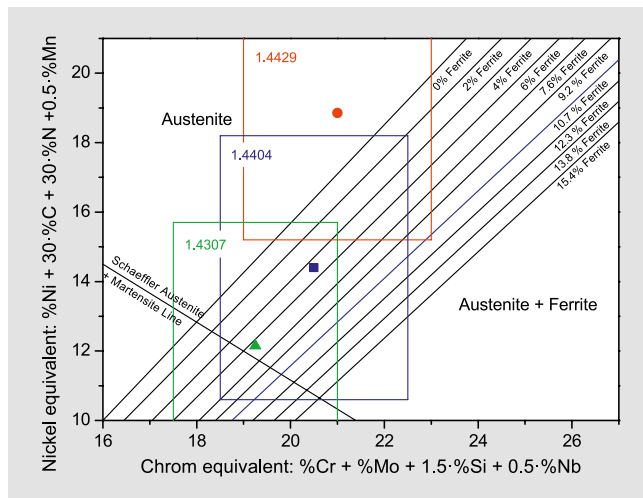


그림 3.3: De Long 다이어그램

### 3.2.1.2 탄소강

탄소강을 진공 기술에서 사용하는 경우는 약  $1 \cdot 10^{-5}$  hPa 미만의 압력을 생성 및 유지할 필요가 없고 방식이 필요하지 않을 때입니다. 스테인레스강과 비교할 때 탄소강은 비교적 저가 빌딩 및 건설 재료이며, 용접성이 양호하고 처리가 쉽습니다. 하지만 탄소(CO)의 지속적인 탈기체화와 공기로부터의 부식 경향은 이런 유형의 강철을 사용할 때 고려해야 합니다. 방식은 대기 측면에서 페인트칠로 제공할 수 있지만, 진공 측면에서는 니켈 도금으로 제공할 수 있습니다. 탱크 건설 시 사용되는 강철 등급은 특히 용접성과 기밀성이 고려되는 곳에서는 신중히 선택해야 합니다. 보일러 건설 방식은 진공 용기 건설에 제한적으로만 적용 가능합니다. 치수 측정 시 외부 대기압으로 인한 응력을 고려해야 하고 용접은 진공 밀폐 실을 보장해야 합니다. 또한 사용되는 공구는 스테인레스강의 오염을 피하기 위하여 스테인레스강 처리에 사용되는 공구들과 엄격히 분리해야 합니다. 연강 및 스테인레스강의 보관 및 운송에도 똑같은 내용이 적용됩니다. 연강은 종종 플랜지 연결을 위한 조임 장치에 사용되며, 이 때 표면은 부식을 방지하기 위하여 아연, 니켈 또는 크롬으로 도금됩니다.

### 3.2.1.3 알루미늄

알루미늄은 주로 저진공 및 고진공 범위에서, 보통은 합금으로 사용되며, 특별한 경우에는 순수 알루미늄으로 사용되기도 합니다. ISO-KF 파이프 구성품과 같은 구성품은 종종 재작업된 플랜지 표면을 가진 주형 알루미늄 합금으로 만들어집니다. 재료를 선택할 때는 수축성과 다공성을 고려해야 합니다. 실링 링의 센터링 및 지지를 위하여 구성품은 바 스톱으로 만들어집니다. 프로필 실 또는 와이어의 형태를 띤 금속 실의 경우엔 담금질된 알루미늄-실리콘 합금을 선호합니다.

알루미늄의 증기압은 낮고 660°C의 용융점에서 약  $6 \cdot 10^{-9}$  hPa입니다. 커다란 열 팽창, 높은 열 전도성 및 안정적인 알루미늄 산화물 층이 알루미늄 용접을 어렵게 만듭니다. 커다란 뒤틀림과 결합하여 기공 및 균열을 형성할 위험이 있습니다. 용접 전 균일한 가열이 이런 위험을 줄여줍니다. 하지만 실제로 이것은 종종 가능하지 않습니다.

알루미늄은 자기화할 수 없습니다. 알루미늄 플랜지 연결은 경도가 종종 너무 낮기 때문에 금속 실링 UHV 연결에는 오직 제한적으로만 사용할 수 있습니다. 알루미늄 베이스와 스테인레스강 도금 또는 경화된 밀봉 표면이 있는 알루미늄 플랜지로 구성된 특수한 바이메탈 플랜지가 개발되었지만, 이들의 사용은 상대적으로 높은 가격, 위험한 가공성 또는 제한된 응용 가능성으로 인해 종종 실패합니다.

이들의 마모 저항을 높이기 위하여(예: 정정실에서 사용 또는 방식을 높이기 위하여) 알루미늄 표면은 종종 산화처리됩니다. 그 결과는 몇  $\mu\text{m}$ 의 두께, 즉 진공 어플리케이션에만 제한적으로 적합한 기공성 산화물 층으로 나타납니다. 기체 분자가 점점 이런 표면에 퇴적되어 높은 탈착률을 보입니다. 또한 표면 면적의 기체 분자가 실 아래로 구멍을 뚫어 누출을 만들어냅니다. 여러 가지 양극 처리가 가능합니다. 양극 처리를 할 것인지 하지 않을 것인지와 양극 처리 시 어떤 방식을 사용할 것인지를 결정할 때 제한을 고려해야 하고 이점과 단점을 따져야 합니다.

### 3.2.2 밀봉재

#### 3.2.2.1 탄성 중합체 실

탄성 중합체 실은 기본적으로 기체가 침투할 수 있습니다. 기체 침투의 전체 과정은 기체 침투라 불리며, 재료, 기체의 유형, 주변 조건 특히 온도에 따라 달라집니다. 또한 탄성 중합체는 탈기체화할 수 있습니다. 진공 호환 가능 탄성 중합체에서는 탈기체율이 감소하고, 충분히 긴 대기 시간 후에는 침투가 활발해지고, 일정한 주변 조건이 갖춰지면 일정한 기체 비율이 실에 침투합니다. 침투와 탈기체화는 확산에 따라 달라집니다. 높은 기체 기밀은 느린 탈기체화를 유발하고, 꾸준한 침투 기체 흐름이 설정될 때까지 오랜 시간을 걸리게 합니다. 시간은 몇 백 시간이 될 수도 있는데, 이는 베이크-아웃 방식으로 더 가속화될 수 있습니다. 진공 시스템에 기체의 주요 소스가 없을 경우, 탈착 또는 누출로 인해 탄성 중합체 실이 최종 압력을 결정할 수 있습니다. 예: 재료 FKM(불소 탄성 중합체)은 공기에 대한 기체 침투성이 낮습니다. 명목 직경이 DN 500 ISO-K인 실의 경우, 60% 습도의 대기에 대한 침투율은 약  $4 \cdot 10^{-7}$  Pa  $\cdot$  m<sup>3</sup>/s입니다. FKM 실이 있는 진공 시스템은  $1 \cdot 10^{-8}$  hPa 이상의 작동 압력에 도달하는 경우가 드뭅니다.

탄성 중합체 실은 적절히 사용하면 여러 번 재사용할 수 있습니다. 이 실은 몇 N/mm<sup>2</sup>의 접촉력을 필요로 하는데, 대기압이 플랜지에 작용하고 있기 때문에 충분히 큰 오링 실 직경은 이미 이 수치를 초과했습니다.

탄성 중합체 실은 불량한 보관 상태 또는 부적절한 처리로 인해 속성이 바뀔 수 있습니다. 피해야 할 요인들은 UV 방사선, 산소, 오존, 열, 습기, 용제 또는 과도하게 큰 변형입니다. 속성을 보존하기 위해서는 보관하는 동안 다음과 같은 주변 조건을 권장합니다.

- 온도 범위: 5°C~25°C
- 극심한 온도 변화 회피
- 습도: 약 65%
- 어두운 보관 지역 또는 빛이 잘 들지 않는 용기
- 화학 물질이 없는 대기

사용하는 동안 주기적인 부하, 변형된 상태에서의 오랜 사용, 고온 및 노화로 인해 부분적으로 탄성을 잃게 됩니다. 너무 오래 사용할 경우 심지어 잘 부러질 수 있습니다. 그러므로 탄성 중합체 실은 정기적으로 교체되어야 합니다. 작동 조건이 무척 다양하기 때문에 내구력에 관한 일반 보고는 전혀 이루어지지 않았습니다. 각 공정 조건 하에서 사용된 탄성 중합체에 대해 사용 가능한 경험적인 데이터가 전혀 없다면 이들의 사용 수명은 경험에 의하여 결정될 수 밖에 없습니다.

간략한 설명	베이스 탄성 중합체	온도 범위[°C]	속성 <sup>1)2)</sup>
FKM	불소 탄소 중합체	-15~200	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 대부분의 진공 어플리케이션에 가장 적합한 밀봉재</li> <li>■ 낮은 기체 침투성</li> <li>■ 뛰어난 내온도성</li> <li>■ 뛰어난 내노화성</li> <li>■ 많은 화학 물질에 화학적으로 저항</li> <li>■ 일반 도달 작동 압력: <math>1 \cdot 10^{-8}</math> hPa</li> </ul>
NBR	니트릴 부타디엔 고무	-25~120	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 양호한 기계적 속성, 높은 연마제 저항</li> <li>■ 광유 및 유압유 저항, 오일 및 가스 윤활</li> <li>■ 양호한 기체 기밀</li> <li>■ 일반 도달 작동 압력: <math>1 \cdot 10^{-7}</math> hPa</li> </ul>
CR	클로로프렌 고무	-5~120	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ NBR과 비교 가능한 속성</li> </ul>
EPDM	에틸렌-프로필렌-디엔 단량체 고무	-50~130	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 고온수와 증기에 저항</li> <li>■ 노화 및 오존에 매우 양호한 저항</li> <li>■ 저온에 양호한 저항</li> <li>■ 산화제에 매우 양호한 저항</li> <li>■ 지방족 및 방향족 탄화수소 및 미네랄 오일 제품에 저항 없음</li> <li>■ 일반 도달 작동 압력: <math>1 \cdot 10^{-7}</math> hPa</li> </ul>
VMQ	실리콘 고무	-55~200	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 뛰어난 내온도성, 고온수나 증기로 전송 불가</li> <li>■ 저온에 양호한 저항</li> <li>■ 비교적 높은 기체 침투성</li> <li>■ 일반 도달 작동 압력: <math>1 \cdot 10^{-6}</math> hPa</li> </ul>

<sup>1)</sup> 이 정보는 표시 값만 있으며 일반 정보용입니다. 이 정보는 탄성 중합체의 선택을 용이하게 해주지만 실제 작동 조건에 적용하기가 어려우므로 보장을 구성하지는 않습니다.

<sup>2)</sup> 표시된 작동 압력은 경험에 기초한 것입니다. 잘 설계된 진공 시스템에서 도달 가능합니다. 일부 경우 초과하거나 더 낮아질 수 있습니다.

표 3.4: 탄성 중합체 속성

### 3.2.2.2 금속 실

고온 또는 저온에서의 응용, 무척 긴 사용 수명, 높은 방사선 부하를 위하여, 그리고 무척 낮은 침투율이 중요할 때마다 탄성 중합체 실 대신 금속 실을 사용해야 합니다. 금속 실에 종종 사용되는 재료는 구리와 알루미늄이며, 어떤 경우에는 은과 금 그리고 냉동 기술에 쓰이는 인듐입니다. 금, 은, 인듐은 주로 와이어 실로 사용되지만 알루미늄이 프로필 실로 사용되기도 합니다. 탄력 있는 금속 코팅 실도 있습니다.

금속 실은 높은 접착 압력을 요구합니다. 조립 시엔 소성 변형을 유발하므로 한 번 밖에 사용할 수 없습니다. 경도는 플랜지보다 작아야 합니다. 그래서 미세 구조에 적응하여 금속 초고진공 밀폐 연결을 생성합니다. 나사나 조임 장치의 치수는 최대 600 N/mm 실 길이의 특정한 접착력이 각 작동 모드에서 유지되도록 정해야 합니다.

스테인레스강으로 만들어진 ISO-KF 및 ISO-K/ISO-F-플랜지엔 다이아몬드 횡단면(알루미늄 에지 실)을 사용할 수 있는 금속 실이 있습니다. 알루미늄-실리콘 합금이 사용되는데, 이것은 담금질되어 있고 약 100 N/mm 실 길이의 접착력을 요구합니다. 알루미늄과 스테인레스강의 서로 다른 열 팽창은 최대 작동 온도를 약 150°C로 제한합니다. 과도하게 높은 온도에 도달한 후에는 냉각 도중에 밀봉 효과의 저하가 나타날 수 있습니다.

구리의 열 팽창은 오스테나이트 스테인레스강과 거의 같습니다. 구리 개스킷은 플랫폼 실(CF 플랜지) 또는 와이어 실(COF 플랜지)로 사용됩니다. 구리 개스킷은 산소가 없어야

합니다. 즉 구리의 품질은 OF (무산소) 또는 OFHC (무산소 고 전도성)가 사용됩니다. 무산소 구리를 사용하지 않을 경우 사용 가능한 산소가 열 처리 도중(예: 베이킹-아웃 도중)에 수소와 반응할 수 있습니다. 이것은 미세 구조를 파괴함으로써 물의 누출을 일으킬 수 있는 소위 "수소 취성"을 이끕니다. CF 플랜지의 구리 플랫폼 실은 최소 200 N/mm 실 길이의 접착 압력을 요구합니다. 공기에 대한 허용 가능한 최대 작동 온도는 200°C입니다. 은 코팅을 하면 온도는 최대 450°C까지 올라갑니다. 담금질한 구리 실은 더 낮은 접착 압력을 요구합니다. 이 실은 특히 뷰포트에서 사용해야 하며, 조립 시 장력을 가능한 한 작게 유지해야 합니다.

재료	접착력/길이[N/mm] <sup>1)</sup>	최대 온도[°C] <sup>1)</sup>
FKM	2 – 10	200
알루미늄	30 – 200	150
구리	150 – 600	450
인듐	약 7	100
금	100 – 500	800

<sup>1)</sup> 이 정보는 오직 지시값만 있으며 일반 정보에 불과합니다. 실의 작동 조건 및 디자인에 따라, 특히 특이한 어플리케이션일 경우엔 값이 달라집니다.

표 3.5: 밀봉재의 비교

### 3.3 연결

#### 3.3.1 비분리형 연결

진공 기술의 비분리형 연결은 용접, 경납땜 또는 용단에 의해, 아니면 중착이나 다음 용접과의 소결에 의해 이루어집니다. 최근 UHV 기술을 포함하지 않는 어플리케이션용 구성품 조립에 진공 저항 접착제도 사용되고 있습니다. 선택된 연결 기술은 요구되는 기체 기밀 뿐만 아니라 기계적 강도, 온도, 교류 열 부하와 관련된 중요한 요구조건에 따라 적절히 설계되어야 합니다. 금속-금속, 유리-유리, 유리-금속, 금속-세라믹, 유리-세라믹 같은 금속 페인트칠이 진공 기술에서 꽤 빈번히 사용되고 있습니다. 금속은 대부분의 경우 용접과 경납땜으로 결합됩니다. 유리 장비의 경우 개별 유리 구성품은 용합을 통해 결합됩니다. 용단이나 중착, 용단이나 경납땜에 의한 금속과 유리 연결은 UHV-호환 및 베이킹 가능한 뷰포트에 사용됩니다. 중착이나 소결에 의한 금속과 세라믹 연결은 예를 들면 진공 전류 피드 스루에서 일반적입니다.

##### 3.3.1.1 용접

진공 장비에서 연강과 스테인레스강의 구성품은 보통 용기와 접합부에서 용접됩니다. 또한 알루미늄 구성품을 함께 용접하는 것도 가능합니다. 용접 후 진공 밀폐 상태인지 확인하려면 균열이나 빈 공간이 없고 표면이 매끄럽고 그리스가 없는 적절한 재료를 사용할 필요가 있습니다. 또한 비진공 어플리케이션에 사용한 보통의 용접 연결과는 때때로 다른 특수한 기하학적 설계가 필요합니다. 공학적 관점에서 가능하다면 진공 측면 틈과 균열을 소위 잠재적 또는 가상적 누출을 피하기 위하여 내부 용접을 해야 합니다. 이것이 가능하지 않을 경우엔 용접을 진공 측면까지 연장해야 합니다. 필요할 경우엔 기계적 안정성을 높이기 위하여 추가 대기 측면 용접을 채용할 수 있습니다. 이런 연결에서는 필요할 경우 누출 탐지를 가능하게 하고 공기 유입을 완전히 차단하기 위하여 이런 추가 용접을 연속으로 행하지 않는 것이 좋습니다.

진공 구성품과 진공실의 용접은 특별한 지식이 필요하며, 용접 직원은 전문 자격증이 있어야 합니다. 보통 용접 회사는 독립적인 검사 기관을 통하여 용접공을 정기적으로 테스트 하여 이 사실을 문서화합니다. 또한 각 용접 재료와 용접 기하학에 대한 용접 절차 테스트를 수행해야 합니다. 특별히 훈련 받은 용접 인력(예: 용접 엔지니어 또는 용접 기술자)은 용접 작업을 따라다니며 평가합니다.

용접 열과 상대적으로 빠른 냉각은 재료의 속성을 변화시킬 수 있습니다. 예를 들어 오스테나이트 스테인레스강의 용접 시 구조의 변화는 자기화성을 증가시키거나 알루미늄 용접 시 일어나는 기공과 고온 균열로 이어질 수 있습니다(이 점은 3.2.1.1 “스테인레스강”과 3.2.1.3 “알루미늄”에서 이미 언급했음). 또한 용접 영역의 높은 잔류 응력은 구성품의 왜곡을 이끄는데, 이런 왜곡은 가능한 한 낮게 유지되어야 합니다. 밀봉 표면과 같은 기능 영역이 영향을 받을 경우엔 다시 작업해야 합니다. 재작업이 가능하지 않을 경우엔 전체 작업의 손상으로 이어질 수 있습니다. 하지만 이를 방지하기 위하여 적절한 용접 기하학과 용접 순서를 결합한 적절한 용접 방법, 용접 준비와 용접 후 처리, 특히 용접공의 자격과 경험을 포함하여 다양한 용접 측정법이 이루어질 수 있습니다.

진공 기술에서는 텅스텐 불활성 기체 용접(TIG)이 자주 사용됩니다. 또한 벽이 얇은 구성품을 위한 마이크로-플라스마 용접이나 파이프 구성품을 위한 궤도 용접과 같은 특수한 방법 뿐만 아니라 다른 유형의 기체 차폐 금속 아크 용접이 사용됩니다. 훨씬 더 정교한 기계 절차는 레이저 용접과 전자 빔 용접입니다. 둘 다 섬세한 구성품과 깊은 곳의 용접에 적합합니다. 커다란 알루미늄 밸브 하우징의 용접에는 마찰 교반 용접이 사용되는데, 이것은 용접 왜곡이 적은 정교한 기계 절차입니다.

텅스텐 불활성 기체 용접(TIG)은 소모성 전극을 요구하지 않으며, 접합 부품은 추가 재료 없이 직접 용접할 수 있습니다. 예를 들어 안정성의 이유로 추가 용접이 필요할 경우엔 용접 소모품을 사용할 수 있습니다. 이 방식의 다른 이점은 실제로 후두둑 떨어지는 소리가 없고, 슬래그 형성이 없고 범용적이라는 것입니다. 스테인레스강, 알루미늄, 구리 역시 TIG 용접이 가능합니다. 용접 속도 이외에도 고급 용접이 필요할 경우엔 TIG 방식이 선호됩니다.



그림 3.4: 레이저 용접의 횡단면 이미지

레이저 빔 용접 또는 레이저 용접(줄임말)은 빠른 용접 속도와 낮은 열 왜곡이 특징입니다. 레이저의 고농축 에너지 입력은 좁은 면적의 용접을 가능하게 하며 가열 면적의 범위를 제한합니다. 내력 구조에 대한 깊고 좁은 용접이 가능할 뿐만 아니라 초점의 너비와 레이저 강도를 설정하면 얇은 막을 생성할 수 있습니다. 이런 방식으로 챔버 구성품을 추가 용접 없이 설계할 수 있고, 용접 중인 플랜지 링은 밀봉 표면 기하학의 정교한 재작업 요구 없이 파이프 말단 깊숙한 곳까지 관통하여 용접할 수 있습니다. 접합부의 더 큰 틈새 폭은 어느 정도까지는 연결할 수 있습니다. 사용된 추가 재료가 여기서 부분적으로 사용됩니다. 단점은 투자 비용이 많다는 것입니다.

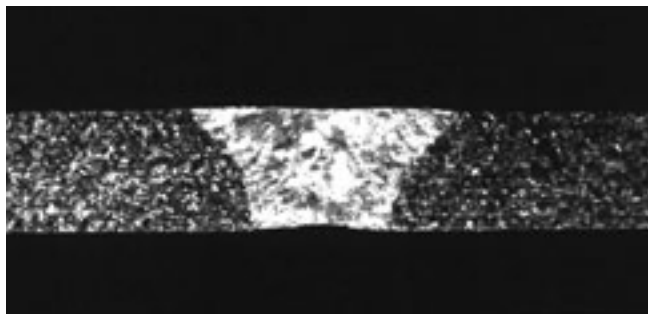


그림 3.5: WIG 궤도 용접의 횡단면 이미지

궤도 용접은 한결같은 고급 솔기를 제공하는 완전히 기계적인 불활성 기체 용접 공정입니다. 왜냐하면 아크가 기계적으로 그리고 파이프 또는 둥근 구성품 주변에서 제어된 조건 하에서 유도되기 때문입니다. 시스템 비용은 TIG 용접보다 비쌉니다. 궤도 용접 봉은 파이프 직경의 제한된 범위만 담당합니다. 직경 외부의 각 튜브 역시 파이프를 잡는데 적합한 장치를 요구합니다.

전자 빔 용접 시 빠르고 집중적인 전극이 용접 지역에 필요한 에너지를 공급합니다. 전자의 산란과 흡수를 방지하기 위하여 이 공정은 고진공 상태에서 수행됩니다. 이것은 또한 반응이 예민한 재료의 용접을 가능하게 해줍니다. 시스템 가격이 비싸고 필요한 장비가 구성되어야만 용접 준비가 가능하기 때문에 일반적으로 용접 절차의 가격이 비싸고 주로 시리즈 구성품에 대한 사용이 제한됩니다.

오스테나이트 스테인레스강의 용접 후에는 기계적으로 매끄러운 표면이 존재하게 됩니다. 그래서 기복 없는 평평한 크롬 산화물 보호막 층이 형성됩니다. 예를 들어 불활성 기체 차폐(루트 베이스에 포함)는 600°C 이상의 온도에서 표면의 스케일링을 방지합니다. 완전한 행군 다음 기계적 또는 화학적 마감은 표면의 탈색을 제거하고 구성품을 깨끗하게 해줍니다.

### 3.3.1.2 경납땜, 용단, 증착

용접 이외에도 납땜 공정은 금속을 접합하는 데에도 사용됩니다. 600°C 이상 납땜 온도에서 용접된 접합부는 진공 기술에서 거의 독점적으로 사용됩니다. 납땜 시 종종 높은 증기압을 수반하는 부식성 높은 흐름의 필요성을 제거하기 위하여, 산소 없는 고강도 접합부를 얻기 위하여, 납땜 공정은 진공 상태에서 또는 깨끗한 불활성 기체 대기에서 수행됩니다. 부드러운 납땜 접합부는 진공 어플리케이션에 적합하지 않을 때가 있습니다. 접합부는 베이크 아웃할 수 없고, 기계적 강도가 더 낮고, 증기압이 낮은 주석 이외에 증기압이 높은 다른 합금 구성품을 자주 포함합니다. 진공 용접과 비슷하게, 특히 조심스럽게 청소된 표면, 납땜 특성의 조심스러운 형성, 낮은 증기압으로 기체 없는 납땜, 납땜의 양호한 흐름과 습윤

속성(기체 충전), 잘 정의된 용합 지역, 납땜과 기본 재료 사이의 낮은 반응과 같은 요구조건이 충족되면 진공 용접 연결이 이루어집니다. 표준 납땜 합금은 두 개의 주요 그룹으로 나눌 수 있습니다. 무거운 금속(주로 은)에 기반한 납땜 합금과 니켈 기반 납땜 합금. 구조화된 무거운 금속 기반 낮은 용융점 납땜 합금은 더 높은 용융점 니켈 기반보다 훨씬 더 비쌉니다. 따라서 기술적으로 가능할 경우 그리고 더 높은 처리 온도가 적절한 경우 니켈 기반 합금의 사용이 선호됩니다. 구성품들의 배열과 구성품 사이의 납땜 간격이 납땜 공정과 일치해야 합니다. 사용된 납땜과 납땜 온도와 구성품의 열 팽창의 성격에 따라 실온에서의 납땜 간격은 일반적으로 0.03~0.1mm입니다. 용접 시간과 납땜 사용 시간의 문제는 일반적이고 포괄적인 방식으로 답할 수 없습니다. 용접이 불가능한 경우는 제외하고, 가능한 한 많은 연결 지점이 일괄적으로 동시에 발생할 때 납땜은 이점이 있습니다.

용단 공정은 유리 장비 및 유리-금속 연결에 기본적으로 사용됩니다. 유리-금속 용단은 진공 밀폐 전류 피드스루의 생산에서, 베이크 가능 뷰포트에, 진공 측정기 생산에서 특히 중요합니다. 유리-금속 전이를 융합하려면 이 재료들의 열 팽창 계수가 넓은 온도 범위를 통하여 가능한 한 서로 유사한 방식으로 재료를 선택해야 합니다. 실제로는 그렇지 않기 때문에 많은 특수 합금이 소위 비적용 유리-금속 실을 위해 개발되었습니다. 용접된 립의 형태를 한 특수 합금은 유리와 뷰포트용 스테인레스강 사이의 유연한 접촉을 제공합니다. 용단은 석영 유리와 함께 수행하기가 어렵습니다. 왜냐하면 용단은 열 팽창이 무척 낮고, 금속과 금속 합금은 어디서든 이렇게 낮은 열 팽창에 도달할 수 없기 때문입니다.

세라믹-금속 연결은 고도로 베이크 가능하고 절연 가능한 전류 피드스루에 사용됩니다. 이런 연결은 무엇보다도 고성능 전송 튜브의 생산과 대규모 물리 연구의 입자 가속기를 위한 세라믹 진공실을 만들기 위하여 사용됩니다. 세라믹을 사용한 연결(예: 알루미늄 산화물, 92%~98%의  $Al_2O_3$ )은 금속으로 접합할 지점에서 사전에 증착됩니다. 이 연결에서는 얇은 금속 층(폴리브덴 또는 티타늄)이 세라믹 접착 기면과 함께 빈 공간과 기공이 없는 완전한 연결을 만드는 것을 확인하는 것이 특히 중요합니다. 전기 피드스루의 생산을 위하여 니켈 층이 그 다음에 적용되고, 여기에 금속 캡이 납땜되고 그 다음에 전도체가 납땜됩니다.

### 3.3.2 분리형 플랜지 연결

진공 시스템의 개별 구성품(예: 진공실, 펌프, 밸브, 측정기 구 등)은 직접적으로 아니면 파이프 구성품이나 탄력 있는 요소들에 의해 서로 연결되어 있습니다. 구성품 간의 분리형 인터페이스는 진공 밀폐 상태가 되어야 합니다. 그러나 진공 시스템 구성 시 가능한 한 최소의 분리형 접합부를 사용해야 합니다. 왜냐하면 분리형 접합부는 비분리형 접합부보다 더 자주 사용되는 잠재적인 누출 소스를 대표하기 때문입니다.

스테인레스강, 알루미늄, 강철로 만들어진 플랜지 구성품을 연결 요소로 사용할 수 있습니다. 유연한 접합부에는 스테인레스강으로 만들어진 금속 호스가 벽이 두꺼운 고무나 열가소성 수지보다 선호됩니다. 이 호스는 앞으로 더 낮은 중간 진공 범위에서 반드시 필요합니다.

저진공 범위에서 고진공 범위까지 명목상 폭이 DN 10~DN 50인 ISO-KF 플랜지 연결은 분리형 연결에 사용되고, DN 63~DN 1000인 ISO-K와 ISO-F 플랜지에는 더 큰 명목상 크기가 사용됩니다. 초고진공 호환 및 해제 가능 연결은 CF 플랜지 연결로써 명목상 폭이 DN 16~DN 400이고, COF 플랜지의 명목상 직경은 이보다 더 큰 DN 400~DN 800입니다.

### 3.3.2.1 오링 실과 흡

진공 기술 구성품이 분리형으로 접합될 경우 주변 공기가 진공 속으로 흘러들어가는 것을 방지하기 위하여 실을 사용해야 합니다. 이를 방지하기 위하여 어플리케이션과 압력 범위에 따라 서로 다른 유형의 실이 있습니다.

오링은 모든 실 중에서 가장 빈번하게 사용됩니다. 서로 다른 재질의 오링을 사용할 수 있는데, 경도 범위가 65~80 Shore A인 탄성 중합체가 일반적으로 사용됩니다. 단위 Shore A는 유연성의 단위로 연성 탄소 중합체에 사용됩니다. 숫자가 클수록 동일하게 적용된 힘에 대한 변형이 더 작습니다. 훌륭한 진공 실로써의 오링의 적합성은 짝을 이룬 표면의 철저한 불균일성에서 유래합니다. 오링의 표면은 그리스나 탈크의 배출이 없어야 하고, 부드러워야 하고, 균열과 굽힘이 없어야 합니다. 링은 이음매가 없어야 하고, 압축 공구의 절단은 링 직경 수준에서 행해져야 하고 연마에 의해 제거될 수 있습니다.

오링은 당해 어플리케이션에 따라 낮은 증기압 그리스(실리콘 그리스, 광유 기반 또는 퍼플루오르폴리에터 기반 그리스)의 얇은 막으로 코팅할 수 있습니다. 진공 그리스는 밀봉 표면과 오링 표면의 작은 요철을 제거하고, 그럼으로써 특히 낮은 정도의 변형에서 밀봉 효과를 향상시킵니다. 여기서 그리스의 증기압은 온도에 따라 급격히 증가한다는 사실을 잘 기억하고 원하는 작동 압력 이하로 유지해야 합니다. 또한 그리스나 소량의 탄화수소 구성품이 어플리케이션과 호환 가능한지를 검사해야 합니다. 건조 설치 시 밀봉재 뿐만 아니라 표면의 특성과 짝을 이룬 표면의 청결성에도 각별한 관심을 기울여야 합니다. 또한 오링과 밀봉 표면이 양호한 접촉을 유지하려면 변형 정도가 너무 작아서는 안 됩니다.

오링의 코드 직경은 보통 2~12mm입니다. 많은 연결의 직경은 5~5.33mm입니다. 일반적으로 말해 오링은 고정 실로 사용됩니다. 동적 응력이 포함될 경우 특히 이런 목적 또는 다른 각적 실 또는 방사상 샤프트 실 링을 위해 제조된 정밀 오링을 사용해야 합니다.

오링은 센터링 링 또는 실링 와셔와 함께 사용할 뿐만 아니라 축 방향 또는 방사상 흡에서도 사용할 수 있습니다. 대부분의 경우 오링은 흡에 위치하며, 일반적으로 한 개의 평평

한 플랜지와 한 개의 흡이 파인 플랜지를 사용하여 플랜지 사이에서 압축됩니다. 흡의 치수는 신중하게 측정해야 합니다. 이에 대해 일반적으로 받아들여진 치수는 없습니다. 오링 공급자 표에 나열된 치수는 방향 설정을 위한 레퍼런스 수치에 불과합니다. 이 치수는 사용자가 각각의 특정한 어플리케이션과 적합성에 대해 확인해야 합니다(예: 테스트를 통하여). 탄성 중합체는 온도, 압력 또는 사용된 유체와의 반응과 같은 외적 영향 때문에 부풀어 오르거나, 오그라들거나, 딱딱해지거나, 심지어 균열이 갈 수도 있습니다. 탄성 중합체와 흡을 선택할 때는 이 점을 고려해야 합니다. 또한 오링이 과도하게 압축되지 않았음을 확인하기 위하여 각 작동 조건에서 밀봉 효과가 충분해야 합니다. 오링의 부피 증가로 인해 흡이 지나치게 메워진다면 오링에 손상을 주거나 심지어 플랜지를 왜곡할 수 있습니다.

고정 밀봉을 위해서는 코드 두께 5mm에 대한 최대 압축이 약 25%여야 합니다. 더 작은 직경은 더 많이 압축될 수 있고, 더 큰 직경은 더 작게 압축될 수 있습니다. 특히 건조 장착 시 15% 미만의 압축이면 실제로 불충분한 밀봉 효과를 유발할 수 있습니다. 변형력은 주로 코드 두께와 탄성 중합체의 경도에 의해 결정됩니다. 5.33mm 두께의 오링을 20% 압축하려면, 70 Shore A의 경도에 대해 밀봉 길이 1mm 당 약 5N/g, 80 Shore A의 경도에 대해 7N/mm가 필요합니다.

조립을 쉽게 하려면 오링 흡의 직경을 보통 오링의 직경보다 조금 더 큰 것으로 선택합니다. 이렇게 하면 조립 시 오링이 흡 속에 있습니다. 탄성 중합체 링의 길이는 안전하게 5% 늘 어날 수 있습니다. 늘어나는 최대 길이는 재료와 작동 조건에 따라 다릅니다.

사다리꼴 또는 그와 유사한 횡단면이 있는 탄성 중합체 실은 예를 들어 밸브 시트에 그리고 진공실의 뚜껑과 문에 사용할 수 있습니다. 오링을 삽입할 때 오링이 손상되지 않도록, 그와 반대로 밸브 판을 들어 올리거나 챔버 문을 열 때 오링이 뺄리지 않도록 사다리꼴 구멍의 치수를 재야 합니다. 또한 접촉력이 커서, 커다란 챔버 문에 커다란 접촉력이 일어날 때, 그 변형이 한계 내에서 유지되도록 사다리꼴 흡은 변형된 오링에 충분한 공간을 허용해야 합니다.

나사(예: 오일 필터 나사 또는 오일 배수 플러그)를 박기 위하여 오링을 각성 위치에 설치합니다. 나사는 위쪽 끝에 45°의 챔퍼가 있어서 그 안에 오링을 삽입한 다음 나사 표면에 압력을 가합니다. 실은 윤활유를 칠해야 합니다. 그래야 조일 때 손상을 입지 않습니다. 또한 설치 공간이 오링의 부피보다 더 커야 합니다.

평면 밀봉 표면과 결합한 평평한 개스킷은 가능한 한 진공 기술에서 피해야 합니다. 이를 위해서는 높은 접촉력에 도달할 단단함이 필요합니다. 그래야 밀봉재가 모든 표면 요철을 채웁니다. 예를 들어 평평한 개스킷을 사용할 경우 평평한 FKM 개스킷이 있는 CF 플랜지와 결합하여 국부적으로 들뜬 밀봉 표면을 순환할 때 보통 이런 현상이 일어납니다.



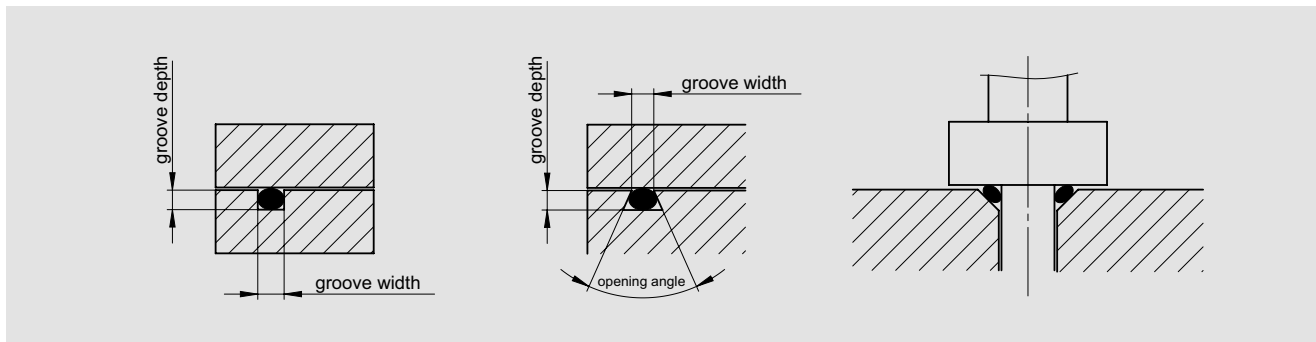


그림 3.6: 직사각형 홈이 있는 오링, 사다리꼴 모양 홈이 있는 오링, 각성 위치의 오링

3.3.2.2 ISO-KF 플랜지

ISO-KF 소형 플랜지 구성품은 명목 직경 DN 10~DN 50의 DIN 28403 및 ISO 2861에 설명되어 있습니다. 이 연결은 최대  $1 \cdot 10^{-8}$  hPa의 압력에 적합하고, 최대 1,500 hPa의 초과 압력에 사용할 수 있습니다. 금속 실을 사용하면 압력 범위를  $1 \cdot 10^{-9}$  hPa 미만으로 연장할 수 있습니다. 이를 위해 필요한 훨씬 더 큰 접촉 압력이 금속 실을 위한 특수 클램프로 생성됩니다.

ISO-KF 연결은 두 개의 대칭 플랜지와 한 개의 오링 실로 구성되는데, 오링 실은 내부 또는 외부의 센터링 링과 함께 위치되고 지원을 받습니다(그림 3.7 참조). 밀봉에 필요한 압축력은 클램핑 링에 의해 생성되는데, 클램핑 링은 원뿔형 밀폐 영역 위에 위치하고 날개 나사로 조여집니다. 그래서 공구 없이 빠르고 효율적인 조립과 분해가 가능합니다. 플랜지는 어떤 방향에서도 주축 주위에 정렬할 수 있습니다.

기저판 위에 KF 플랜지를 장착하기 위하여(그림 3.8 참조) 갈고리 모양 클램프 또는 격벽 클램프가 클램핑 요소로 사용됩니다. 기저판에 있는 구멍들의 치수는 갈고리 모양 및 격벽 클램프의 제품 설명에 나와 있습니다.

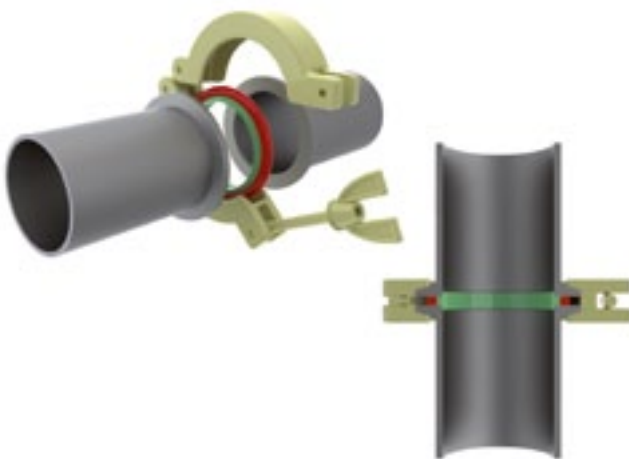


그림 3.7: 센터링 링과 클램핑 링으로 ISO-KF 연결

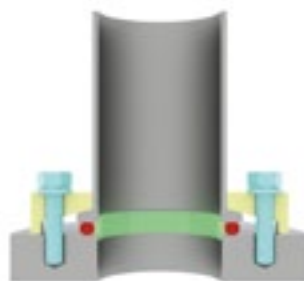


그림 3.8: 센터링 링과 갈고리 모양 클램프로 기저판에 장착된 ISO-KF 플랜지

### 3.3.2.3 ISO-K/ISO-F 플랜지

**ISO-K 클램핑 플랜지 구성품 및 ISO-F 고정 플랜지 구성품**은 ISO-K 플랜지에 대해서는 명목 직경 DN 10~DN 630이고 ISO-F 플랜지에 대해서는 명목 직경 DN 10~DN 1000인 DIN 28404 및 ISO 1609에 설명되어 있습니다. 이 연결은 최대  $1 \cdot 10^{-8}$  hPa의 압력에 적합하고 최대 1,500 hPa의 초과 압력에 사용할 수 있습니다. 금속 실을 사용하면 압력 범위를  $1 \cdot 10^{-9}$  hPa 미만으로 연장할 수 있습니다. 금속 실은 훨씬 더 높은 접착력을 요구합니다. 나사식 플랜지 연결의 경우, 클램프 나사를 사용할 경우 필요하면 숫자를 높여야 합니다.

ISO-K와 ISO-F 화합물은 두 개의 대칭 플랜지와 한 개의 오링 실로 구성되어 있는데, 오링 실은 내부 센터링 링과 함께 위치되고 지원을 받고 한 개의 외부 링의 지원을 받기도 합니다. 밀봉에 필요한 접착 압력은 이중 갈고리 모양 클램프(그림 3.9) 또는 나사(그림 3-13)와 함께 생성됩니다.

ISO-K 플랜지를 사용하면 플랜지 뒷면의 원주형 외부 리지가 클램프 나사에 의한 미끄러짐을 방지합니다. 플랜지는 어떤 방향에서도 주 축 주위에 정렬할 수 있습니다. 갈고리 모양 클램프는 기저판에 ISO K 플랜지를 장착하는 데에 사용됩니다. 기저판에 센터링 링이 있는냐(그림 3.10) 아니면 오링이 있느냐(그림 3.11)에 따라 높이가 다른 갈고리 모양 클램프를 사용합니다. 그렇지 않으면 ISO-K 플랜지를 볼트 링과 함께 기저판에 고정시킬 수 있습니다(그림 3.12).

ISO-F 플랜지엔 명목 직경에 의존하는 고정 볼트 구멍 원이 있습니다. 플랜지는 주 구멍 축 주위에 일정한 간격으로 놓여 있는 구멍을 따라 정렬될 수 있습니다. ISO-F 플랜지는 기저판에 볼트로 고정할 수 있습니다. 실로 센터링 링을 사용할 수 있고 그렇지 않으면 기저판에 있는 밀봉 홈이 있는 오링을 사용할 수 있습니다.

ISO-K 플랜지를 ISO-F 플랜지에 장착하는 것은 볼트 링으로 할 수 있습니다(그림 3.14). 볼트 링을 설치하려면 ISO-K 플랜지 위로 미끄러뜨린 다음 서클립을 ISO-K 플랜지의 외부 원주 홈에 끼워 넣습니다. 플랜지는 어떤 방향에서도 주 축 주위에 정렬할 수 있습니다.

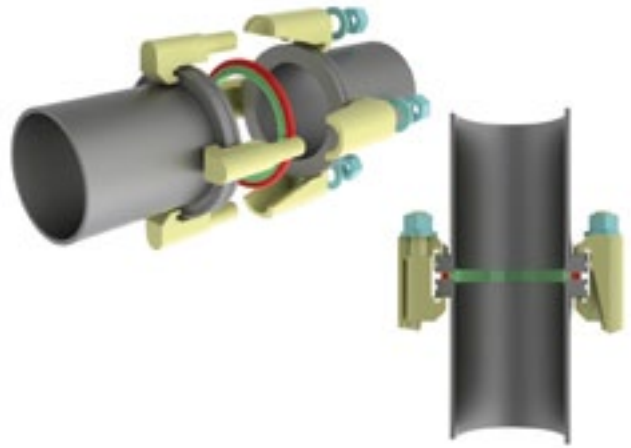


그림 3.9: 센터링 링과 이중 갈고리 모양 클램프로 ISO-K 연결

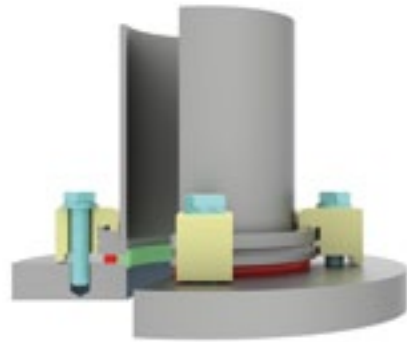


그림 3.10: 센터링 링과 갈고리 모양 클램프로 기저판에 장착된 ISO-K 플랜지

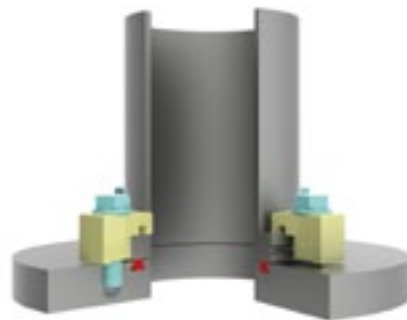


그림 3.11: 밀봉 홈을 가진 기저판에 대해 오링 너트와 갈고리 모양 클램프로 기저판에 장착된 ISO-K 플랜지

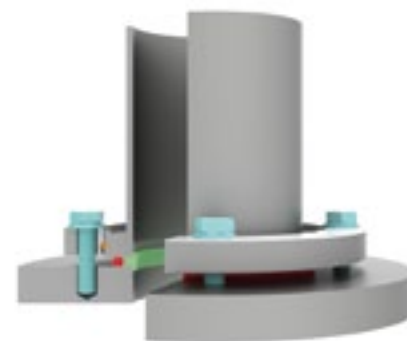


그림 3.12: 센터링 링, 볼트 링, 나사로 기저판에 장착된 ISO-K 플랜지

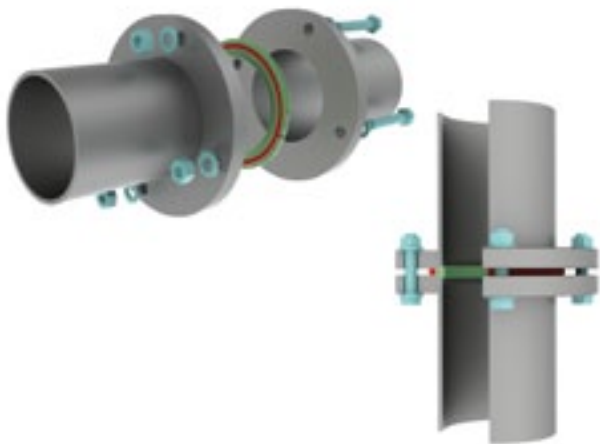


그림 3.13: 센터링 링과 나사로 ISO-F 연결

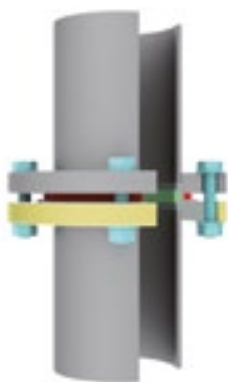


그림 3.14: 센터링 링과 나사로 연결한 ISO-F 플랜지 위에 볼트 링으로 장착된 ISO-K 플랜지

### 3.3.2.4 CF 플랜지

CF 플랜지는 명목 직경 DN 16~DN 250인 ISO 3669에 설명되어 있고, 명목 직경 DN 10~DN 400인 ISO/TS 3669-2에 자세히 설명되어 있습니다. 이런 표준들 외에도 진공 시장에서 사용 가능한 제조업체 또는 사용자에게 의한 추가 변형들이 있습니다. 명목 직경이 최대 DN 250일 경우엔 이런 표준들이 종종 결합됩니다. 명목 직경이 커질수록 덜 일반적이 되고 서로 상당히 다릅니다. 호환성에 대해 의심이 들 경우 치수를 서로 비교해야 합니다.

CF 플랜지는 UHV 어플리케이션을 위해 설계되었고, 최대 450°C로 구울 수 있고,  $1 \cdot 10^{-12}$  hPa 미만의 압력에 적합합니다. 재료에 대한 요구는 비교적 높습니다. CF 플랜지는 일반적으로 탄소 함량이 낮은 스테인레스강으로 거의 전적으로 만들어집니다. 재료 1.4307이면 많은 어플리케이션에 충분합니다. 예를 들어 강도 또는 낮은 자기화성에 관한 더 큰 요구에 대해서는 프리미엄 스테인레스강 1.4429 ESR이 권장됩니다. 알루미늄 챔버에서 사용하기 위하여 알루미늄 베이스와 스테인레스강 표면 또는 경화된 표면 실 영역이 장착된 루미늄 플랜지로 구성된 특별한 바이메탈 플랜지가 개발되었습니다. 하지만 상대적으로 높은 가격, 위험한 가공성 또는 제한된 가열 탈기체 처리 가능성 때문에 이런 플랜지는 실제로 자주 사용되지 않습니다.

CF 연결은 두 개의 첨단 부분이 있는 대칭 플랜지, 얇은 홈의 중앙에 위치한 금속 평면 개스킷, 필요한 높은 접촉 압력을 제공하는 많은 나사로 구성됩니다(그림 3.15). 플랜지의 방사상 우묵 들어간 부분은 플랜지를 헐겁게 하는 데에 사용되며, 밀봉 표면에 헬륨을 직접 분무할 수 없기 때문에 누출 감지에 유용합니다. 각각 구멍 위치에 정렬되어야 하는 고정 플랜지 외에도 주 축 주위의 어떤 방향에도 플랜지가 정렬될 수 있도록 회전 칼라 플랜지가 있는 디자인이 있습니다.

무산소 구리 OFCH (무산소 고 전도성)는 일반적으로 온 도금 디자인에서 200°C를 초과하는 온도에서 밀봉재로 사용됩니다. 조립 시 플랜지의 첨단 부분은 어워싸인 밀봉 디스크 속으로 밀어 넣어집니다. 외부의 첨단 부위에서 밀어냄 현상이 일어나고, 그와 동시에 내부 가장자리에서는 질삭 작업이 일어납니다. 저온 흐름은 외부의 수직 플랜지 벽에 의해 제한됩니다. 그래서 매우 높은 압력이 경계 층에서 생성됩니다. 압력이 높아지면 미세 구조의 구리가 첨단 부위까지 조정되어 표면의 작은 결함을 채워 금속 초고진공 밀폐 연결을 생성합니다. 전에 사용한 구리 개스킷은 재사용할 수 없습니다. 최대 약  $1 \cdot 10^{-8}$  hPa의 압력까지는 FKM으로 만든 실을 여러 번 사용할 수 있습니다.

조립 시 어떤 식으로든 장력을 피하기 위하여 처음에 나사를 균일하게 정반대로 조입니다. 그 다음에는 나사를 차례 차례 단계적으로 조금씩 구리가 초고진공 밀폐 방식으로 밀봉 표면에 연결될 때까지 조입니다. 베이크 아웃 시 가열 및 냉각이 매끄러워야 하고 너무 빨라서는 안 됩니다. 플랜지 연결 시 온도 차이는 유리 요소들과 같은 구성품에 손상을 주거나 누출을 일으킬 수 있는 장력을 유발할 수 있습니다.

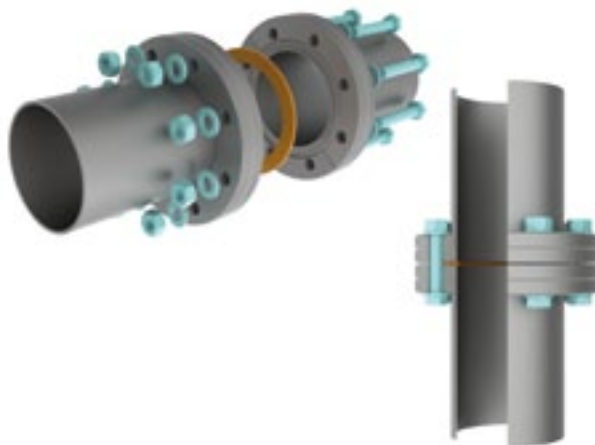


그림 3.15: 구리 평면 개스킷과 나사로 CF 연결

### 3.3.2.5 COF 플랜지

COF 플랜지는 초고진공 호환 연결을 위한 커다란 명목 직경에 사용됩니다. 구울 수 있고, 최대 약  $1 \cdot 10^{-12}$  hPa의 압력에 적합하고, 표준화되어 있지 않습니다. 그래서 다른 브랜드의 플랜지와 결합하면 호환성을 검사해야 합니다. 가능하면 주조된 상태의 탄소 함량이 낮은 스테인레스강으로 주로 만들어집니다.

COF 연결은 서로 다른 "수" 및 "암" 모양을 가진 한 쌍의 플랜지, 한 개의 와이어 실, 요구되는 높은 접착력을 제공하는 충분한 수의 나사로 구성됩니다(그림 3-16). 플랜지는 주구멍 축 주위에 일정한 간격으로 놓여 있는 구멍을 따라 정렬될 수 있습니다. 무산소 구리 OF(무산소)로 만들어진 용접된 와이어 링은 밀봉재로 사용됩니다.

조립 시 실은 "수" 쪽의 첨단 부분에 단단히 삽입됩니다. 두 가지 모양의 밀봉 표면이 구리 링을 에워쌉니다. 첨단 부분에서 밀어냄 현상이 일어납니다. 저온 흐름은 "수" 플랜지의 수직 내부 벽에 의해 제한됩니다. 그래서 매우 높은 압력이 경계 층에서 생성됩니다. 압력이 높아지면 미세 구조의 구리가 첨단 부위까지 조정되어 표면의 작은 결함을 채워 금속 초고진공 밀폐 연결을 생성합니다. 전에 사용한 구리 와이어는 재사용할 수 없습니다. 최대 약  $1 \cdot 10^{-8}$  hPa의 압력까지는 FKM으로 만든 실을 사용할 수 있습니다. 이 실은 보통 재사용할 수 없지만 예를 들어 플랜지가 자주 장착될 경우(예: 시스템을 평준화할 경우)엔 더 빠른 조립을 가능하게 해줍니다.

조립 시 어떤 식으로든 장력을 피하기 위하여 처음에 나사를 균일하게 정반대로 조여야 합니다. 그 다음에는 나사를 차례 차례 단계적으로 조금씩 구리가 초고진공 밀폐 방식으로 밀봉 표면에 연결될 때까지 조입니다. 베이크 아웃 시 가열 및 냉각이 매끄럽고 너무 빠르게 수행되지 않는지 확인해야 합니다. 플랜지 연결 시 온도 차이는 누출을 일으킬 수 있는 장력을 유발합니다.

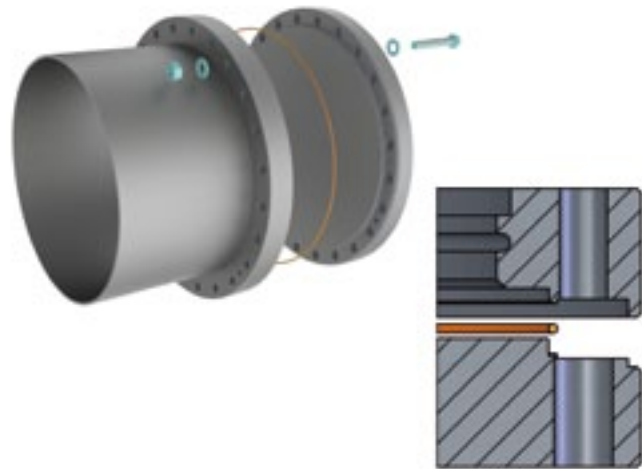


그림 3.16: 구리 와이어 실과 나사의 COF 연결

### 3.3.2.6 다른 플랜지 표준

나열된 진공 플랜지 외에도 예를 들면 산업 및 공정 공학에서 사용되지만 진공 기술에서는 잘 사용되지 않는 많은 다른 플랜지 표준이 있습니다. 이 플랜지의 표면은 종종 거칠고 폴렛 실을 위해 디자인됩니다. 진공 및 초과 압력 하에서 작동하는 시스템의 경우 진공 플랜지는 매우 제한된 상태에서만 사용할 수 있습니다. 이를 위하여 예를 들어 EN 1092-1을 따르는 플랜지가 사용됩니다. 진공에 적합한 플랜지를 디자인하려면 밀봉 표면을 재작업해야 합니다. 예를 들면 오링 홈이 있는 플랜지와 매끄러운 밀봉 표면이 있는 플랜지가 짝을 이룹니다. 따라서 압력 용기 및 배관 관련 법률 규정을 준수해야 합니다.

### 3.3.2.7 나사

금속 실 연결의 디자인에서 나사의 중요성은 과소평가되어서는 안 됩니다. 나사 역시 파손 전 응용 제한이 있습니다. 부적절하게 설치된 나사는 특히 순환 열 응력과 함께 누출 위험의 잠재적 원천입니다.

나사를 장착할 때는 두 가지 중요한 기계적 요인인 인장 강도  $R_m$  (기준 인장 강도를 초과하면 나사가 파손됨을 설명)과 항복점  $R_{p0.2}$  (나사의 연장이 커짐에도 불구하고 인장력 이상의 응력이 처음과 동일하게 남아 있거나 더 작아짐을 나타냄)를 고려해야 합니다. 이것은 탄성 범위와 소성 범위 사이의 전이를 표현합니다. 나사는 0.2%의 항복점  $R_{p0.2}$ 보다 높은 응력의 영향을 받아서는 안 됩니다. 나사의 칩 토크에 대한 레퍼런스 수치는 따라서 0.2%의 항복점의 90% 이용을 고려한 값입니다.

실온에서 강철 나사의 인장 강도와 항복점은 나사의 강도 클래스(예: 두 자리 수 결합)의 사양에서 찾아 볼 수 있습니다. 첫 번째 수 1/100 [N/mm<sup>2</sup>]은 인장 강도를 표시합니다. 두 수의 곱은 항복점의 1/10 [N/mm<sup>2</sup>]입니다. 예: 강도 클래스 8.8,  $R_m = 8 \cdot 100 \text{ N/mm}^2 = 800 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_{p0.2} = 8 \cdot 8 \cdot 10 \text{ N/mm}^2 = 640 \text{ N/mm}^2$ .

스테인레스강 나사의 지정 시 재료의 품질 및 인장 강도가 표시됩니다. 실제 예를 들면, 오스테나이트는 A, 합금 유형은 1~5, 등급 강도는 변형 경화 시 -70 또는 높은 강도 시 -80입니다. 강도 클래스는 인장 강도의 1/10 N/m<sup>2</sup>와 같습니다. 예: 사양 A2-70, A2는 오스테나이트와 같고, 합금 유형 2, 70은  $R_m = 70 \cdot 10 \text{ N/mm}^2 = 700 \text{ N/mm}^2$ 와 같습니다.

사용된 너트는 최소한 나사와 동일한 강도를 가져야 합니다. 강철 너트일 경우 테스트 장력의 1/100 [N/mm<sup>2</sup>]와 같은 수치가 표시됩니다. 예: 수 8은  $R_m = 800 \text{ N/mm}^2$ 과 같습니다. 스테인레스강 나사일 경우 동일하거나 더 높은 재료 품질 및 속성 등급을 가진 너트를 사용해야 합니다. 주의: 0.8배의 나사 직경(평면 디자인)보다 더 낮은 높이를 가진 너트는 제한된 내력 용량을 갖습니다.

나사의 유형	0.2% 항복점 $R_{p,0.2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	인장 강도 $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	재료
스테인레스강, A2-70	450	700	스테인레스강, 1.4301, 1.4303, 1.4307
스테인레스강, A4-80	600	800	스테인레스강 1.4401
강철, 강도 클래스 8.8	640	800	탄소강, 조질형

표 3.6: 실온에서 나사의 기계적 특징 및 재료

토크와 예압 응력을 결정하려면 나사 연결의 마찰 계수  $\mu_{total}$ 을 알아야 합니다. 다양한 표면 및 윤활 조건 때문에 신뢰할 수 있는 값을 제공하는 것은 불가능합니다. 산란이 너무 큼니다. 이런 이유 때문에 마찰 계수의 산란 계수가 제공될 수 있습니다. 올바른 토크를 결정하려면 작동 조건 하에서의 테스트가 권장됩니다.

마찰 계수는 윤활제의 사용으로 감소할 수 있지만 커다란 산란 범위는 동일하게 유지됩니다. 더 작은 마찰 계수가 더 낮은 최대 토크로 이어짐을 주목해야 합니다. 따라서 윤활제의 사용 → 마찰 계수  $\mu_{total}$  하락 → 더 작은 토크가 필요하거나 적용됨.

스테인레스강 나사인 경우 나사 안과 지지 표면 위의 마찰 값은 달군 강철 나사와 함께 할 경우보다 실제로 더 큼니다. 마찰 값의 산란 범위도 훨씬 더 큼니다(최대 100% 이상). 가장자리 압력이 높기 때문에 이 범위 역시 고정되는 경향이 있습니다. 윤활제가 일반적으로 이런 경우에 도움을 줄 수 있습니다. 그렇지 않으면 은 도금 나사나 너트를 사용할 수 있습니다.

나사	너트	윤활제 사용 시 $\mu_{total}$	MoS <sub>2</sub> 페이스트 사용 시 $\mu_{total}$	그리스 사용 시 $\mu_{total}$
A2 또는 A4	A2 또는 A4	0.23 – 0.50	0.10 – 0.20	–
강철, 전기 아연 도금	강철, 전기 아연 도금	0.12 – 0.20	–	0.10 – 0.18

표 3.7: 스테인레스강 및 아연 도금 강철 나사의 마찰 계수

### 높은 온도에서의 나사의 속성

높은 온도에서 나사 사용 시 인장 강도와 항복점이 감소한다는 점에 주의해야 합니다. 또한 기계적 강도를 평가하기 위한 기초로 크리프 변형 또는 열 저항을 고려해야 합니다. 따라서 항복점에 대한 정보는 지침으로만 제공됩니다. 중요하거나 안전 관련 어플리케이션과 기타 기계적 매개변수와 모든 영향 요인을 고려해야 하기 때문입니다.

나사의 유형	0.2%의 항복점 $R_{p,0.2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]				
	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C
스테인레스강, A2-70	450	380	360	335	315
스테인레스강, A4-80	600	510	480	450	420
강철, 강도 클래스 8.8	640	590	540	480	–

표 3.8: 직경이 ≤ M24인 스테인레스강 및 강철 나사에 대한 0.2% 항복점의 온도 의존성

스루홀 나사 연결이 너트의 회전에 의해 조여질 경우 나사 볼트와 판 사이의 동일한 압축력에서 인장력이 생성됩니다. 그 결과 나사가 연장되고 구성품이 압축됩니다. 나사의 연장을 통하여 예압 응력이 생성됩니다. 클램핑 힘은 부품의 압축에 의해 생기고, 연결 시 추가적인 힘이 없으면 예압 힘과 크기가 같습니다.

나사를 조일 때 접촉 표면 사이에서 마찰이 일어납니다. 예압 힘이 커지면서 나사와 너트 접촉 영역의 마찰 시간이 증가합니다. 최대 예압 힘은 전체 토크의 대부분에서 마찰 시간의 합계를 나타냅니다. 나사에 윤활제를 바르면(마찰 계수가 작아짐) 마찰률이 낮아지고, 따라서 나사는 동일한 토크로 더 높은 예압 응력을 만들어냅니다. 윤활제를 바른 나사의 최대 허용 가능 토크는 윤활제를 바르지 않은 나사의 최대 허용 가능 토크보다 더 낮다는 점에 주의하십시오.

예압 힘과 토크가 나사에서 인장 응력과 비틀림 응력을 유발합니다. 나사 부하의 계산 시 두 가지 영향을 동시에 고려해야 합니다. 계산이 힘들면 VDI 가이드라인 2230에 나와 있으므로 표를 참조하십시오. 0.2% 항복점의 90% 이용이 가능하다고 생각하면 최대 허용 가능 토크와 서로 다른 마찰 계수 관련 예압 응력을 거기에서 찾을 수 있습니다. 하지만 그 정보는 안내를 위한 구속력이 없는 값을 나타낼 뿐입니다. 중요하거나 안전 관련 어플리케이션과 나사 계산에 필요할 지도 모르는 모든 영향 요인을 고려해야 하기 때문입니다. 스테인레스강과 강철 나사에 대한 표에서 발췌한 부분이 아래에 나와 있습니다.

치수와 품질	$\mu_{total}$ 당 최대 토크 [Nm] =					$\mu_{total}$ 당 최대 예압 힘 [kN] =				
	0.10	0.14	0.20	0.30	0.40	0.10	0.14	0.20	0.30	0.40
M4, A2-70	1.7	2.2	2.6	3.0	3.3	2.97	2.73	2.40	1.94	1.60
M4, A4-80	2.3	2.9	3.5	4.1	4.4	3.96	3.64	3.20	2.59	2.13
M5, A2-70	3.4	4.2	5.1	6.1	6.6	4.85	4.47	3.93	3.19	2.62
M5, A4-80	4.6	5.6	6.9	8.0	8.8	6.47	5.96	5.24	4.25	3.50
M6, A2-70	5.9	7.4	8.8	10.4	11.3	6.85	6.31	5.54	4.49	3.70
M6, A4-80	8.0	9.9	11.8	13.9	15.0	9.13	8.41	7.39	5.98	4.93
M8, A2-70	14.5	17.8	21.5	25.5	27.6	12.6	11.6	10.2	8.25	6.80
M8, A4-80	19.3	23.8	28.7	33.9	36.8	16.7	15.4	13.6	11.0	9.10
M10, A2-70	30.0	36.0	44.0	51.0	56.0	20.0	18.4	16.2	13.1	10.8
M10, A4-80	39.4	47.8	58.0	69.0	75.0	26.5	24.8	21.7	17.5	14.4
M12, A2-70	50	62	74	88	96	29.1	26.9	23.7	19.2	15.8
M12, A4-80	67	82	100	117	128	38.8	35.9	31.5	25.6	21.1
M16, A2-70	121	150	183	218	237	55.0	50.9	44.9	36.4	30.0
M16, A4-80	161	198	245	291	316	73.3	67.9	59.8	48.6	40.0

모든 자료는 실온에서의 근사치입니다. VDI 2230을 참조하십시오. 0.2% 항복점  $R_{p0.2}$ 의 90% 이용 시, 육각 나사(ISO 4014 및 4017), 육각 소켓 나사(ISO 4762), 표준 나사가 있는 너트(ISO 4032)의 경우.

표 3.9: 스테인레스강 나사에 대한 최대 토크 및 그에 따른 최대 압 힘

치수 및 강도 클래스	최대 토크 Nm]			$\mu_{total}$ 당 최대 예압 힘 [kN] =		
	0.10	0.12	0.14	0.10	0.12	0.14
M4, 8.8	2.6	3.0	3.3	4.5	4.4	4.3
M5, 8.8	5.2	5.9	6.5	7.4	7.2	7.0
M6, 8.8	9.0	10.1	11.3	10.4	10.2	9.9
M8, 8.8	21.6	24.6	27.3	19.1	18.8	18.1
M10, 8.8	43	48	54	30.3	29.6	28.8
M12, 8.8	73	84	93	44.1	43.0	41.9
M16, 8.8	180	206	230	82.9	80.9	78.8

모든 자료는 실온에서의 근사치입니다. VDI 2230을 참조하십시오. 0.2% 항복점  $R_{p0.2}$ 의 90% 이용 시, 육각 나사(ISO 4014 및 4017), 육각 소켓 나사(ISO 4762), 표준 나사가 있는 너트(ISO 4032)의 경우.

표 3.10: 강도 클래스 8.8인 강철 나사의 최대 토크 및 그에 따른 최대 예압 힘

나사를 막힌 구멍에 고정할 경우 에워싸인 중공 공간이 나사 구멍 끝에서 생성됩니다. 이런 불감 부피는 진공 상태에서 아주 느리게 사라지고 누출과 동일한 방식으로 연장된 탈기체를 이끕니다. 따라서 이것은 허누출이라 불리기도 합니다. 고진공 및 부분적으로 UHV 조건 하에서 이런 유형의 불감 부피는 구조적으로 회피되어야 하며, 그렇지 못할 경우엔 환기되어야 합니다.

대안은 편안한 환기 수단을 제공하는 진공 나사입니다. 이런 나사의 속은 드릴로 파인 구멍(탈기체 구멍)입니다. 나사 머리 부분도 방사상 밀링 홈(탈기체 감소)을 갖고 있고, 이곳을 통하여 나사 연결의 피드스루 구멍 영역이 환기됩니다. 나사의 기계적 매개변수는 환기 구멍이 기계적 약화를 이끌기 때문에 진공 나사에 적용할 수 없습니다.

### 3.4 진공실

진공 시스템의 핵심은 진공실이며, 진공실은 특정한 어플리케이션에 맞춰집니다. 진공실은 어플리케이션을 에워싸서 외부로부터 안전하게 격리하거나 내부에서는 공정으로부터 주변을 보호합니다. 건조 공정에 미세 진공이 필요한지 아닌지와 상관 없이 플라즈마 공정을 위한 중간 진공이나 고진공 또는 표면을 위한 초고진공은 다음 사항을 연구합니다. - 진공실은 항상 기계적으로 대기로부터의 차압을 견뎌야 한다.

유럽 연합 내에서는 진공 용기가 디자인과 계산이 토대를 이루고 있는 특정한 가이드라인의 영향을 받지 않습니다. 진공 용기는 압력 장비(압력 기기 고시 97/23/EC는 내부 측정기 압력이 500 hPa보다 더 큰 구성품에 적용됨)가 아니고 기계 기기 고시 2006/42/EC에 따라 기계로 분류되지 않습니다. 그럼에도 불구하고 진공 용기는 안전하고 신뢰할 수 있는 방법으로 설계, 계산, 제조되어야 하고, 위임에 앞서 테스트를 받아야 합니다.

접시 모양 경판과 같은 실린더형 튜브, 구 모양의 바디, 평평한 바닥 또는 몰드 부품의 벽 두께는 AD-2000 리플렛을 사용하여 계산해야 합니다. AD 2000 규정은 사실 압력 용기 계산을 위한 "압력 용기 작업 위원회"에 의해 만들어졌지만, 이 사실은 또한 부하 조건이 "외부의 초과 압력"임을 보여줍니다. 여기서는 예를 들면 실린더형 튜브의 "탄성 좌굴"이나 "소성 변형"을 포함하는 필요한 벽 두께 계산을 위한 방정식을 발견하게 됩니다.

직사각형 챔버나 유사한 디자인을 사용하여 표면과 앞으로 일어날 장력의 편향을 확인해야 합니다. 편향이 너무 크면 벽을 더 두껍게 하거나 예를 들면 추가 용접 리브로 면적을 강화해야 합니다. 이를 위해 유한 요소법(FEM)을 사용하여 기계적 계산을 수행하는 유용한 프로그램을 챔버 디자인을 최적화하기 위하여 사용할 수 있습니다. 허용 가능한 기계적 응력 이외에도 "외부의 대기, 내부는 진공"이라는 부하 조건에서 밀봉 표면이 원래 상태를 잘 유지하고 있는지 확인할 필요도 있습니다. 밀봉 표면이 뒤틀려 있으면 챔버의 사용을 막는 누출이 발생할 수 있습니다.



그림 3.17: 냉각 프로파일과 수냉 플랜지가 있는 EUV 소스 챔버

챔버의 기본 모양은 종종 어플리케이션에서 파생됩니다. 챔버 바디엔 가능하면 재료 입력과 안정성에 이상적인 실린더형 튜브를 선택해야 합니다. 명목 직경이 더 작을 경우엔 평평한 바닥이 튜브 측면을 밀봉할 수 있습니다. 더 큰 직경은 재료 입력과 챔버 질량을 제한하기 위하여 접시 모양 경판으로 봉해야 합니다. 예: 챔버 직경이 600mm일 경우엔 접시 모양 경판보다 벽 두께가 3배 정도 큰 평평한 바닥을 요구합니다. 피팅 뚜껑이 있는 주 플랜지는 챔버 접근을 허락하고 들어 힌지는 사용 편의성을 향상시킵니다. 외부의 챔버 피트는 안정성을 보장하고, 아이 볼트나 게양 걸쇠는 안전한 운반을 가능하게 해줍니다.

챔버가 달궈져야 하거나 내부 열 소스가 챔버 덮개의 과도한 가열을 유발할 경우엔 챔버 냉각 시스템이 제공되어야 합니다. 이것은 용접된 냉각 프로파일 또는 대형 면적용 필로우 플레이트 냉각(그림 3.18)에 의해, 심지어 이중 벽 용기가 됨으로써 달성될 수 있습니다.



그림 3.18: 필로우 플레이트 냉각을 사용하는 우주 시뮬레이션 챔버

챔버는 종종 실험이나 공정에 따라 사용자와 설계자의 대화를 통하여 설계됩니다. 개별 맞춤 챔버의 대안은 표준 진공실입니다. 표준 진공실은 자유롭게 선택 가능한 포트에 의해 완성된 선구성된 기초 바디입니다. 표준 진공실은 완전한 고객 맞춤형 진공실에 더 빠르고 더 저렴한 대안을 제공합니다.

#### 3.4.1 처리 - 표면

"재료 선택"과 "용접"이라는 주제는 이미 이전의 여러 장에서 다루었습니다. 진공실과 구성품의 내부 표면은 고진공 및 UHV에서 작동 압력에 도달하기 위한 중요한 요인입니다. 유효 표면을 최소화하고 탈착률이 작은 표면을 만들게 해주는 조건 하에서 처리가 수행되어야 합니다.

진공실과 구성품의 표면은 종종 용접 및 기계적 처리 이후에 파열된 미세한 유리 구슬과 같습니다. 제한된 직경을 가진 고압 유리 구슬이 표면 위로 과급됩니다. 밀봉 표면은 발파되어서는 안 되므로 발파 시 덮개로 덮입니다. 공정은 표면을 밀봉하고 미세하게 갈아내고, 표백하듯이 표면과 가까운 층들을 제거하고, 장식적인 외관을 만듭니다. 발파될 표면은 깨끗하고 그리스나 기름이 없어야 하며, 모래 매질은 특히 아철산염 및 오스테나이트 스테인레스강 같은 재료들의 그룹을 바꿀 때 정기적으로 교체해야 합니다.

연마는 밀 스케일, 스케일 또는 스커핑으로 거시적 조도를 제거하기 위하여 사용됩니다. 연마는 깨끗하고 오일 및 그리스가 없는 표면에서 행해져야 하고, 연마제가 표면에 침투하게 해서는 안 됩니다. 초기의 조도와 제거해야 할 층 두께에 따라 교차 연마 방식(예: 연마 방향 바꾸기)을 사용하여 점점 더 미세한 알갱이로 단계적으로 연마해야 합니다. 연마는 종종 전자 연마와 같은 후속 표면 처리의 예비 단계입니다. 연마는 시각적으로 균일한 인상을 만듭니다. 이미 비교적 매끄럽고 산세척된 표면에서 연마는 더 장식적인 효과를 낼 수 있지만 표면 영역을 증가시킬 수도 있습니다.

솔질은 용접 솔기의 후처리에 사용됩니다. 사용되는 솔은 스테인레스강으로 만들어져야 하고, 이물질이 표면에 도입되지 않도록 다른 물질로 오염되어서는 안 됩니다. 광택내기에도 똑같은 것이 적용됩니다. 광택제나 연마제가 표면에 첨가되어서는 안되며, 첨가 시에는 이후에 완전하게 제거되어야 합니다. 미세한 거칠기로 유효 표면 영역이 증가해서는 안 됩니다.

산세척은 표면 청소에 효과적인 방법입니다. 불순물과 약 1~2  $\mu\text{m}$  두께의 층이 용해됩니다. 알칼의 농도, 온도 또는 산세척 시간과 같은 관련 산세척 매개변수는 과도한 산세척을 회피하기 위하여 엄격히 준수되어야 합니다. 산세척 후에는 산세척 액체의 모든 잔류물을 제거하기 위하여 강도 높게 헹궈야 합니다. 표면 조도는 산세척 공정에 의해서는 근소하게만 바뀝니다.

전자 연마는 직류 전원장치를 사용함으로써 금속을 전해액으로 만드는 선택적 양극 용해 방법입니다. 이 경우엔 수정 같이 맑은 순수한 표면을 만들기 위하여 표면에서 보통 12~15  $\mu\text{m}$ 이 제거됩니다. 표면이 균일하게 제거되기 위해서는 구성품에 적합한 전극이 자주 만들어져야 합니다. 이것이 공정을 복잡하게 만듭니다. 또한 CF 밀봉 표면은 덮개를 덮어야 합니다. 왜냐하면 전계 강도가 가장자리처럼 극부적으로 증가하여 재료의 제거가 증가하기 때문입니다. UHV 사용자들 사이에서는 이 공정에 대해 불만이 많습니다. 수소를 표면에 직접 처리하거나 남은 전해액을 통해 표면에 처리하는 방법이 논의되고 있습니다. 산처리와 마찬가지로 전자 연마 후에는 구성품을 완전히 헹궈야 합니다. 또한 재료가 용접 솔기 영역에서 제거되기 때문에 후에 누출 테스트를 수행해야 합니다. 이전의 조건에 따라 전자 연마가 표면 조도를 1/2까지 감소시킬 수 있습니다.

### 3.4.2 처리 - 청소

깨끗한 표면은 진공 기술의 전제 조건입니다. 모든 불순물은 진공 조건에서 탈착되거나 기체 부하를 유발하거나 구성품에 퇴적되지 않도록 표면에서 제거되어야 합니다.

예를 들어 초기에는 거친 분진을 제거하기 위하여 고압 청소기를 사용한 전처리가 필요합니다. 이후에는 구성품이 멀티 챔버 초음파 용기에서 세척됩니다. 최초의 청소는 표면을 청소하고 그리스를 제거하는 특수 청소기를 추가한 초음파 조건에서 이루어집니다. 오염물질은 계면활성제로 코팅되어 표면에서 들어올려져 청소 용기에 들려붙습니다. 청소 용기의 pH는 챔버 재료에 따라 조정되어야 합니다. 다른 용기에서는 사전 헹굼 이후에 뜨거운 탈염수로 완전히 헹굼으로써 세제가 완전히 제거됩니다. 그리고 그 직후 뜨겁고 먼지 없고 탄화수소 없는 공기 속에서 건조되어야 합니다. 커다란 챔버는 특수 세정제를 추가한 스팀 또는 고압 청소기로 청소됩니다. 이후에는 뜨거운 탈염수로 여러 번 다시 세척한 후 뜨거운 공기로 건조해야 합니다.

청소가 끝나면 진공 측면 표면은 깨끗하고 보풀 없는 장갑으로만 만져야 합니다. 사용되는 포장은 PE 플라스틱 필름이며, 밀봉 표면과 칼날 프로필은 PE 캡으로 보호됩니다.

청소된 구성품의 표면은 여전히 탈기체 소스를 대표합니다. 특별히 흡착된 물 분자와 공기 속에 저장되었다 나온 탄화수소의 흔적은 UHV의 잔류 기체 소스 중에서 가장 큰 소스입니다. 이런 것들을 표면에서 효과적으로 제거하기 위해 UHV 챔버가 가열됩니다. 지속적인 배출을 위한  $1 \cdot 10^{-6}$  hPa 미만의 압력에서 구성품은 약 48시간 동안  $150^{\circ}\text{C}$ ~ $300^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 가열됩니다.

물리 흡착 또는 화학 흡착을 통해 표면에 들러붙은 외부 원자들은 이런 과정을 통해 열 에너지를 얻어 속박에서 벗어나 표면에서 배출됩니다. 표면에서 배출된 원자는 진공 펌프에 의해 시스템에서 제거되어야 합니다. 냉각 후에는 몇 단계 낮은 최종 압력에 도달합니다. 챔버가 환기될 경우 표면에서는 분자가 한 번 더 환기됩니다. 건조 질소를 흡수 기체로 삼아 건조한 대기에 짧게 여러 번 노출하는 것은 표면에 물이 생기는 것을 완전히 막을 수는 없고 줄일 뿐입니다. 허용 가능한 펌프 다운 시간 내에  $1 \cdot 10^{-8}$  hPa보다 더 작은 최종 압력에 도달하려면, 또 한 번의 베이킹 아웃이 필요합니다.



### 3.5 구성품과 피드스루

진공 시스템은 한 개의 유닛을 형성하기 위하여 조립되어야 하는 많은 단일 구성품을 갖고 있습니다. 분리형 진공 밀봉 플랜지 연결을 사용하는 구성품은 배관 구성품이나 호스처럼 직접 또는 진공 구성품을 통하여 연결할 수 있습니다. 사용 가능한 많은 표준 구성품이 있는데, 이것들은 주로 스테인레스강이나 알루미늄으로 만들어집니다. 금속 정선은 T-형 또는 교차형 팔꿈치 모양 파이프 구성품으로 만들 수 있고, 어댑터가 진공 플랜지에서 나사 또는 VCR 연결에 전이를 제공하고, 감속기 또는 어댑터 조각들이 명목 직경 또는 플랜지 시스템의 변경을 가능하게 해줍니다.

장착 공간이 제한될 경우 최소한의 가능한 플랜지 연결을 설치해야 합니다. 필요한 어댑터와 연결이 표준 구성품에서 실현될 수 없을 경우 고객 구성품이 사용됩니다. 이 구성품은 특별한 길이의 완전한 니플로 시작해서 무척 복잡한 개별 특수 솔루션으로 끝납니다.

#### 3.5.1 호스와 신축성 커넥터

신축성 커넥터의 가장 단순한 형태는 플라스틱 호스입니다. 더 큰 명목 직경이 수축을 방지하기 위하여 새겨진 금속 나선에 의해 강화됩니다. 그 끝은 호스 어댑터에 호스 클램프로 고정되어 있습니다. 플라스틱은 진공 상태에서 탈기체하기 때문에 이런 호스는 낮은 진공 및 중간 진공 어플리케이션에만 사용해야 합니다.  $1 \cdot 10^{-4}$  hPa 이상의 압력에서는 금속 호스가 필수입니다. 금속 호스는 동심 샤프트의 형태로 벽이 얇은 튜브에서 저온 형성되고, 동심 샤프트를 용접 밀봉하기 위하여 플랜지 연결에 용접됩니다. 담금질된 파형 호스는 변형 후 담금질을 하여 응력이 줄어들어서 보관 기간이 더 짧습니다. 하지만 변형은 더 저온 작업 및 변형의 정도에 의존하게 하고, 응력 제거 풀림을 생략합니다. 벽이 얇은 파형 호스는 무척 유연해서 변형이 쉽습니다.

파형 호스는 진공 상태에서 수축됩니다. 따라서 신축성 커넥터는 유압식 요소처럼 행동할 수 있습니다. 축 방향 탄성률과 프로필의 유압식 횡단면에 따라 축방향 힘이 생성되는데, 이는 플랜지 연결로 전이됩니다. 커다란 명목 직경은 거대한 인장력을 생성하는데, 이는 시스템을 설계할 때 고려되어야 합니다. 파형 호스가 주로 한 공간 속에서 두 개의 플랜지를 연결하는 데에 사용되는 반면 스프링 벨로우즈는 진동의 방향 보상이나 흡수에 사용됩니다. 이들의 프로필은 오메가 파의 형태로 압축되어 있으므로 무척 유연합니다.

멤브레인 벨로우즈는 함께 용접된 개별 판으로 만들어집니다. 짧은 설치 시간에 긴 축 방향 스트로크와 커다란 굽힘각을 달성하는 것이 가능합니다. 판의 강성 때문에 측면 오프셋은 S-모양 프로필을 형성하는 비교적 많은 멤브레인 쌍을 통하여서만 가능합니다.

#### 3.5.2 뷰포트

투시창은 공정 기간을 포함하여 진공실 내부 관찰에 기본적으로 사용됩니다. 그러므로 해당 두께의 봉규산 유리가 일반적으로 사용되고 탄성 중합체 실과 함께 투시 플랜지에 설치됩니다(ISO-KF, ISO-K 및 ISO-F 뷰포트). UHV 어플리케이션 및 고온인 경우, 유리는 금속화 및 납땜되고(용융 실리카 또는 사파이어 유리) 아니면 열 팽창을 보상하기 위하여 용접 립과 함께 용융됩니다(Kodial 유리). 이 유리는 투시 플랜지의 용접 립에 용접 및 용접 밀봉됩니다. 장력을 최소화하려면 CF 뷰포트를 오직 담금질된 구리 실에 끼어 맞춰야 합니다. 또한 가열 및 냉각이 매끄러워야 하고 너무 빨라서는 안 됩니다.

뷰포트가 전자기파의 전달에 사용될 경우 전송 범위와 광학적 특징을 고려해야 합니다. 1인치 및 2인치 투시창에 FKM 개스킷을 가진 유리 홀더가 있어서 진공 플랜지에 광학 유리를 설치할 수 있습니다. 뷰포트 셔터는 예를 들어 코팅 공정 동안 뷰포트의 오염을 방지하거나 줄입니다.



그림 3.19: 유리-금속 용단이 있는 CF 뷰포트

#### 3.5.3 전기 피드스루

전기 피드스루 제작 시 중요한 요소는 사용할 전류 용량과 전압 그리고 진공 기밀 및 온도 저항에 대하여 충족시켜야 할 요구조건입니다. 유기적 절연재가 있는 피드스루는 더 낮은 전압에서만 사용할 수 있습니다. 주형 수지 피드스루는 적당한 전류 부하와 적당한 온도에 자주 사용됩니다. 절연 저항에 대해서는, 유리-금속 용단이 있는 피드스루가 전자 기기의 고전압 및 약한 전류 피드스루에 적합합니다.

세라믹 절연이 있는 피드스루는 유리보다 더 큰 기계적 안정성과 온도 저항을 제공합니다. 또한 세라믹(예: 알루미늄 산화물)은 고전압에 적합한 절연 형태로도 제조될 수 있습니다. 이것은 세라믹 피드스루가 고전압 및 고성능 측면에서 유리 피드스루보다 더 뛰어난 이유입니다. 가장 엄격한 전기, 열 및 진공 기술 요구사항에 대해서는 견고한 금속-세라믹 연결만을 고려해야 합니다.

일반적으로 더 높은 온도가 전기적 절연 효과를 줄이고 또 전도체의 전류 용량을 줄인다는 사실을 고려해야 합니다. 달리 명시되지 않는 한 전기 데이터는 실온을 참조하십시오. 게다가 최대 작동 전압은  $1 \cdot 10^{-4}$  hPa 미만의 진공에 적용됩니다. 더 높은 압력에서는 전압 차가 큰 전도체들간의 작은 이간 거리가 기체 방전과 플래시오버를 이끌 수 있습니다.  $1 \cdot 10^{-3}$  hPa 사이의 취약한 압력 범위에서는 고전압 전도체들 사이에 적절한 이간 거리가 제공되어야 합니다. 그렇지 않으면 이럴 경우에는 주형 수지로 채우거나 유리나 세라믹 파이프로 만들어진 차폐를 사용하는 것이 유용할 수 있습니다.

전기 피드스루는 와이어 피드스루, 플러그가 한 개인 다중 피드스루 또는 동축 커넥터가 있는 피드스루만큼 가용성이 있습니다. 좁은 설치 장소에 높은 전압이나 전류 또는 많은 신호 전압을 가진 전압을 전달하기 위한 특별한 변형들이 있습니다.



그림 3.20: 구리로 만들어진 세라믹 절연 와이어 전도체가 있는 전기 피드스루

### 3.5.4 기타 피드스루

열전대 피드스루는 낮은 열전자 전압을 전달하므로 사용되는 열전대에 맞춰야 합니다. 열전대용 커넥터 상의 재료는 열 전기 전압의 열전기 중립 전달이 일어나도록 열전대의 재료와 같아야 하거나 최소한 열전기적으로 비교 가능해야 합니다. 탄성 중합체 밀봉 피드스루도 광물 절연 열전대에 사용 가능하고 오링을 통하여 고무 진공 밀폐를 밀봉합니다.

액체용 피드스루는 끝 부분이 개방되어 있거나 Swagelok® 또는 VCR 피팅이 있는 플랜지가 용접된 파이프입니다. 이중 벽 파이프는 저온 또는 고온 유체를 운반하는 피드스루에 사용되는데, 여기서 유체 운반 파이프가 플랜지에서 열적으로 절연됩니다.

절연체는 여러 부분에 전류를 발생시키는 절연을 제공합니다. 플랜지 연결에 용접 밀봉 및 납땀된 세라믹은 절연 거리의 길이에 따라 높은 kV 범위에서 커다란 전위차를 분리할 수 있습니다.

파이프 피드스루는 탄성 중합체 오링 유리와 금속 파이프 진공 밀폐를 한 줄로 고정시킵니다.

## 3.6 밸브

진공 시스템의 밸브들도 진공 기술에 일반적이고 제품 제작 시 고려해야 하는 차단 요소들에 대한 일반적인 기술 요구조건 이외에도 특별한 요구조건에 영향을 받을 수 있습니다.

진공 밸브 구성 및 선택 시 분자 흐름 범위의 구성품들의 최소 변위 최종 압력과 높은 흐름 저항을 고려해야 합니다. 또한 밸브 하우징과 밸브 시트에 대해 최소 누출률이 요구됩니다. 밸브의 이동 부품에 대한 진공 측면 윤활제는 요구된 압력 및 온도 범위에 적합해야 하고, 그렇지 않으면 가능한 경우 고진공 또는 초고진공에서 전적으로 회피되어야 합니다. 최소 불감 부피와 높은 전도성은 특히 분자 흐름 범위에서 중요합니다.

기계적 구동 요소들에 대한 피드스루는 압력 및 온도 범위 뿐만 아니라 기밀에 대한 요구조건들을 충족시키는 방식으로 설계되어야 합니다. 품질에 따라 탄성 중합체 밀봉 피드스루(예: 샤프트 실)가  $1 \cdot 10^{-4}$  hPa보다 더 큰 압력 범위에서 더 낮은 진공 요구조건에 사용될 수 있습니다. 반면에 멤브레인 벨로우즈 또는 스프링 벨로우즈는  $1 \cdot 10^{-4}$  hPa 미만의 압력 범위에 사용됩니다. 또한 금속 벨로우즈로 밀봉된 밸브는 적절히 제작된 경우 베이크 아웃될 수 있습니다. 탄성 중합체 밀봉 하우징, 플레이트 또는 플랜지가 있는 밸브는 최대  $1 \cdot 10^{-8}$  hPa의 압력에 사용됩니다. 설치는 일반적으로 대기압이 밸브 판 위에 있고, 폐쇄된 위치에 있고, 따라서 폐쇄력을 증가시키는 방식으로 실행됩니다.

모든 실이 금속으로 만들어진 순금속 밸브는 UHV 어플리케이션과 더 높은 베이크 아웃 온도에 적합하지만 대개 실에 더 높은 폐쇄력을 요구합니다. 연질 금속(구리 또는 특수 합금)이 밀봉재로 사용됩니다. 폐쇄력이 높으면 실 사용 수명도 짧다고 예상해야 합니다.

진공 기술 분야의 다양한 어플리케이션에는 다양한 유형의 밸브가 있습니다. 이 밸브들은 디자인이나 기능에 따라 명명됩니다.

### 3.6.1 밸브 제어

밸브가 구동되는 데에는 다양한 방법이 있습니다. 명목 직경이 작은 밸브는 전자석 반응 코일에 의해 전자기적으로 열릴 수 있습니다. 이 밸브들은 일반적으로 스프링의 힘으로 닫힙니다. 더 큰 밸브의 경우 요구되는 코일은 상당히 큰 것으로 많은 열을 만들어냅니다. 솔레노이드 전류의 개봉 후 구동의 과열을 방지하기 위하여 내장된 제어 전자 제품에 의해 지지 전류가 감소될 수 있습니다. 그럼에도 불구하고 DN 40보다 더 큰 치수의 밸브들은 전자기적으로 작동하는 경우가 드뭅니다.

공압 작동 밸브의 경우 구동에 공압이 사용됩니다. 요구되는 제어 압력의 범위는 종종 0.4~0.8 MPa입니다. 공압 실린더는 그 움직임을 밸브 판에 전달합니다. 압축 공기에 의해 방향이 조작되고 스프링으로 그 반대 방향이 리셋될 때의 구동은 "단일 작용 공압"이라 불립니다. 압축 공기가 두 방향에 모두 요구될 경우엔 "이중 작용 공압"이라 불립니다. 공압 구동 헤드에 압축 공기의 유입구와 출구에 대한 전자기 제어 밸브가 직접 달려 있는 경우는 전자 공압 구동입니다. 여기서는 공압이 적용되어야 하고, 이 공압은 제어 전압(종종 24 V DC)으로 제어 밸브를 스위칭하여 제어되어야 합니다. 정기적인 공압 구동의 경우, 전자기 밸브 역시 일반적으로 압축 공기 제어에 사용됩니다. 하지만 전자기 밸브는 캐비닛에 있고, 많은 밸브가 연결되어 있는 경우엔 제어 밸브를 보관하는 소위 밸브 터미널에 있습니다. 제어에 실패할 경우 리턴 스프링이 있는 밸브가 제한된 밸브 위치에 놓여 있을 때 종종 이점이 있습니다. "정상적으로 닫힘" 설계와 "정상적으로 열림" 설계는 확실히 구별되는데, 이 때 표준은 닫힘 위치입니다. 이외에도 밸브는 전기 모터에 의해 작동될 수 있습니다. 중간 위치 역시 밸브 설계가 허용할 경우 가능합니다.

대부분의 밸브는 "열림/닫힘" 광학 위치 표시기를 갖고 있는데, 이는 밸브 위치를 표시합니다. 자동 공정에서는 실질적인 밸브 위치에 관한 피드백을 받는 것이 유용하거나 필요합니다. 이것은 스위칭 상태와 무관합니다. 이런 목적을 위하여 밸브에 밸브 판의 위치를 직접 표시하는 밸브 위치 표시기가 장착되어 있습니다. 이 표시기는 압축 공기의 실패와 같은 오작동이나 제어 밸브의 오작동을 표시합니다.

### 3.6.2 앵글 밸브

앵글 밸브는 높은 기밀이 특징이고, 튼튼하고, 산업 어플리케이션에 적합하고, 분진에 대해 저항력이 있습니다. 유입구 및 출구 플랜지가 알루미늄 또는 스테인레스강 하우징 위에 직각으로 배치되어 있습니다. 그림 3.21은 벨로우즈 밀봉 앵글 밸브의 설계를 보여줍니다. 사다리꼴 모양 또는 오링 모양 탄성 중합체 실이 밸브 판 위에 위치해 있습니다. 밸브 판은 밸브 시트와 반대로 움직여 밸브를 닫습니다. 기계적 활성화 요소들은 진공 범위 밖에 위치해 있기 때문에 아무런 문제 없이 윤활제 공급을 받을 수 있습니다. 앵글 밸브는 모든 일반 플랜지 유형에 사용 가능하고, 수동, 공압, 전자 공압 및 솔레노이드 구동 설계에서 사용 가능합니다.

UHV 어플리케이션의 경우 용접 밀봉 밸브 하우징과 FKM 또는 구리(순금속 설계)로 만들어진 밸브 시트 실이 있습니다.

### 3.6.3 인라인 밸브와 격막 밸브

인라인 밸브는 기본적으로 위에서 설명한 앵글 밸브와 설계가 동일합니다. 자신의 유입구와 출구를 제외하곤 축에 위치해 있습니다. 설계 덕분에 인라인 밸브의 흐름 저항은 대개 비교 가능한 앵글 밸브의 흐름 저항보다 더 큼니다.

명목 직경이 더 작은 밸브들은 격막 밸브로 사용 가능합니다. 격막은 시트를 내부와 외부에서 밀봉합니다.

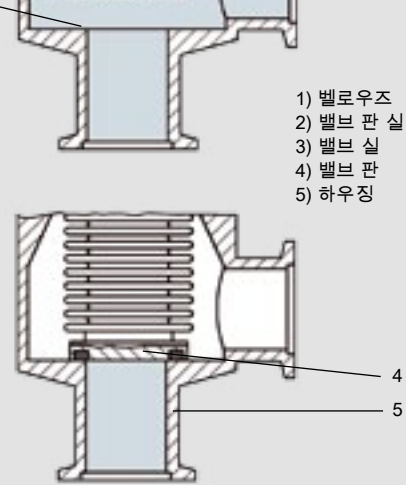


그림 3.21: 벨로우즈 밀봉 앵글 밸브

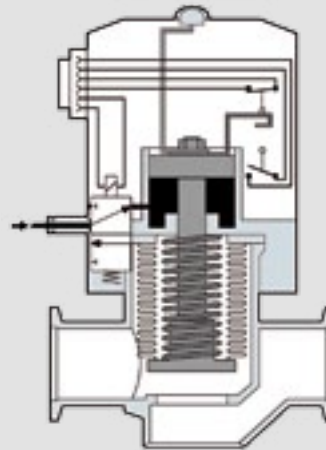
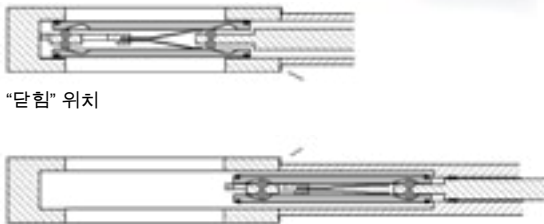


그림 3.22: 전자 공기식 구동 인라인 밸브

### 3.6.4 게이트 밸브

위에서 설명한 밸브들은 명목 횡단면을 부분적으로만 개방하는 반면, 게이트 밸브는 열림 위치에서 자유로운 통과를 제공합니다. 낮은 설치 높이에서 높은 전도도를 이끌면서 고진공 펌프를 사용하는 동안 요구되는 최소 성능이 손실됩니다.

대개 이중 설계로 된 밸브 판은 앞뒤로 움직여 이 밸브를 열고 닫습니다. 닫힘 위치에서 두 요소는 구체에 의하여 밀봉 표면에서 떨어져 반대로 움직입니다. 밸브 게이트의 이동 방향에 따라 리바운드 밸브, 셔틀 밸브, 회전 날개 밸브가 구별됩니다. 대부분의 게이트 밸브는 특수한 설계 덕분에 밸브 판 위에서 0.1 MPa의 차압에 반하여 밀봉할 수 있지만, 밸브 판 위에서 낮은 차압이 존재하면 열 수만 있습니다.



“닫힘” 위치

“열림” 위치

그림 3.23: UHV 게이트 밸브

### 3.6.5 버터플라이 밸브와 볼 밸브

버터플라이 밸브의 실은 밸브 판의 원주 위에 장착되어 있습니다. 판은 축 주위를 회전하고, 축은 원형 밸브 하우징을 관통하여 가로축으로 움직입니다. 밸브 판은 밸브 개구 속에 있습니다. 밸브는 게이트가 전체 횡단면을 거의 개방하기 때문에 짧은 설계와 낮은 흐름 저항을 갖습니다.

볼 밸브는 자유롭게 통과할 수 있고 진공이 약  $1 \cdot 10^{-5}$  hPa에 달하는 매우 튼튼한 밸브입니다. 관통하는 구멍이 있는 볼은 회전 지원을 받으며, 마찬가지로 관통하는 구멍이 있는 범용 볼 접합부(보통 PTFE로 만들어짐)에 의해 양쪽이 밀봉됩니다. 구멍이 흐름 방향에 있으면 전체 횡단면이 열립니다. 볼 밸브는 닫힘 상태일 때 막힌 부피를 포함합니다.

3-방향 설계에서 구체 구멍은 “L” 또는 “T” 형태입니다. 구멍의 크기 때문에 세 개의 포트가 스위칭 시 결합할 수 있습니다.

### 3.6.6 기체 도징 밸브와 기체 제어 밸브

기체 도징 밸브는 예를 들어 일정한 압력을 유지하거나 설정하기 위하여 제한된 기체 흐름을 진공 시스템으로 유입시키는데 사용됩니다. 이 밸브는 종종 니들 밸브의 원칙에 따라 작동합니다. 스프링들을 돌리면 틈이 벌어지고 이 구멍과 길이가 흐름 전도도를 제공합니다. 기체 흐름은 스프링 회전 때 따라 달라지며, 특징적인 곡선으로 표시됩니다. 밸브 위치는 눈금으로 판독할 수 있으며 재생 가능하게 설정할 수 있습니다.

기체 제어 밸브는 모터 제어 가능 도징 또는 비례 밸브이고, 밸브 개구의 크기는 적용된 코일 전류와 함께 최대 구멍이 열릴 때까지 계속 증가합니다. 코일 전류와 연관된 부피 흐름은 특징적인 곡선으로 설명됩니다. 제어 밸브는 제어 유닛에 의해 작동하거나 외부 제어기에 의해 직접 제어됩니다. 제어 밸브는 압력 또는 흐름 제어를 위한 자동 공정에서 사용됩니다.

UHV 조건에서 굉장히 낮은 유량률(예: 질량 분석기 어플리케이션)일 때는 구울 수 있는 순금속 기체 도징 밸브와 금속 시트에 반하여 세라믹 판으로 밀봉하는 기체 제어 밸브가 있습니다.



그림 3.24: UHV 순금속 기체 도징 밸브

## 3.7 조작기와 기계적 피드스루

연구 및 산업 생산의 많은 진공 공정은 표본 또는 구성품의 환기 지역으로의 이동을 요구합니다. 이것은 세 개 공간 축 방향에서 선형 위치 변경이 될 수 있고, 단일 이동 또는 서로 간의 이동 유형의 결합으로써 축 주위 회전이 될 수 있습니다.

조작기와 기계적 피드스루는 진공에서의 평행이동 및 회전을 허용하고, 이들의 구동은 대기 측면에 위치해 있고, 이동은 진공 밀폐 방식으로 전달됩니다. 여러 가지 다른 작동 및 전송 원칙이 사용되며 각각의 진공 및 어플리케이션 조건을 따릅니다. 금속 멤브레인과 스프링 벨로우즈, 특수 탄성 중합체 실, 자기 결합 시스템 또는 타동 펌프 실이 밀봉 요소로 사용될 수 있습니다.

두 개의 개방된 플랜지 연결과 한 개의 개방된 통로를 가진 설계는 조작기라 불리고, 진공 밀폐 플랜지에 설치된 작동기가 있는 구성품은 기계적 피드스루라 불립니다. 후자는 컴팩트한 설계가 특징입니다. 조작기는 서로 결합되고 연장될 수 있습니다. 또한 기계적 피드스루는 조작기에 부착되어 다양한 유형의 이동을 진공에 전달할 수 있고, 그와 함께 다양한 이동 작업에 솔루션을 제공할 수 있습니다. 또한 다른 피드스루는 예를 들어 전기 또는 유체를 위한 유입구 플랜지에 부착될 수 있고, 이런 피드스루는 조작기에 의해 직접 어플리케이션으로 인도될 수 있습니다.

특히 명목 직경이 더 큰 조작기의 플랜지들은 대기 압력 때문에 상당한 힘을 갖습니다. 플랜지가 진공 하에서 안정적이려면 조작기 설계 시 플랜지의 내재된 강성이 강조되어야 합니다. 특별한 설계 과제는 내장 구성품에 의한 외부 부하 및 다른 부하에 따라 이동을 정확히 전달하는 것입니다. 내장 구성품은 UHV 범위에서도 사용할 수 있도록 베이크 아웃될 수 있어야 합니다.

### 3.7.1 작동 원리

적합한 조작기 또는 기계적 실행을 선택할 때 사용자는 업무의 적합성에 관한 기계적 매개변수를 평가할 수 있기 위하여 중요한 원리를 알아야 합니다.

#### 3.7.1.1 격막 벨로우즈 밀봉 평행이동

멤브레인 벨로우즈는 함께 용접된 개별 판으로 만들어집니다. 탄성률이 작기 때문에 축 방향 확장이 무척 유연합니다. 벨로우즈는 용접 밀봉 금속 인클로저이며, 가장 높은 UHV 요구조건에 적합합니다.

벨로우즈의 선택과 설계는 요구되는 이동 업무에 따르며, 고려해야 할 작동 조건은 사용 수명(이동 사이클의 수), 작동 온도, 베이크 아웃 온도, 차압입니다. 수명은 재료 316L로 만들어진 멤브레인이 최대 50만 사이클, 더 탄성이 있지만 자기화 가능 재료 350AM인 경우는 최대 1,000만 이동 사이클입니다.

지정된 사이클 수 이내의 멤브레인 벨로우즈는 정비가 필요 없습니다. 계산된 동작 사이클에 도달한 후에는 교체되어야 합니다. 먼지 및 분진 환경에는 적합하지 않습니다.

멤브레인 벨로우즈는 Z-축, XY-축 및 XYZ-축 정밀 조작기, 포트 얼라이너, 벨로우즈 밀봉 회전 피드스루에 사용됩니다.

격막 벨로우즈가 있는 유닛을 베이크 아웃할 때는 균일한 가열을 확인하는 것이 중요합니다. 격막 벨로우즈 위에 여러 개의 히터가 있으면 안 됩니다. 히터는 강한 국부적 가열을 이끕니다. 왜냐하면 격막 벨로우즈는 질량이 낮고 열 전도를 위해 공간이 작기 때문입니다. 온도 제어 가열 슬리브가 더 좋고 더 정교한 대안입니다.

#### 3.7.1.2 벨로우즈 밀봉 회전

소위 캐테일 또는 워블 원리는 벨로우즈(예: 진공과 대기 사이의 밀폐 격리로 인한 회전 동작)를 이용한 회전 이동을 허용합니다.

그림 3.25는 이런 피드스루 설계를 보여줍니다. 끝이 크랭크 핀(3)에서 지지되는 앵글 구동 축(1)은 진공 속에서 구동 축(4)을 회전시킵니다. 용접 밀봉은 워블링 이동을 수행하는 비회전 벨로우즈 실(2)로 구성되어 있습니다. 구동된 축과 구동 축은 진공에 적합한 건조 윤활로 코팅된 스테인레스강 볼 베어링에 의해 지지됩니다.

건조 윤활은 수명과 가능한 최대 속도를 증가시킬 뿐만 아니라 구체가 고온에서 베이크 아웃될 때 고정되는 것을 방지합니다. 건조 윤활 이외에도 세라믹 구체가 있는 하이브리드 베어링도 UHV 어플리케이션에 사용될 수 있습니다. 가격이 높기 때문에 가장 높은 표준에만 사용해야 합니다. 그렇지 않으면 소량의 탄화수소에 저항하는 고진공 어플리케이션의 경우 베어링은 진공 적합 그리스로 윤활될 수 있습니다.

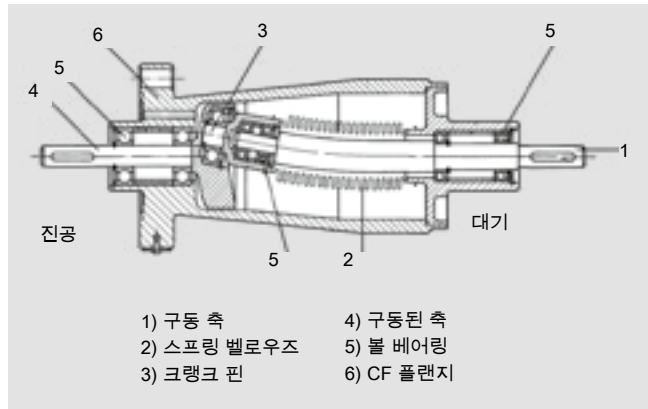


그림 3.25: 벨로우즈 밀봉 UHV 회전 피드스루(캐테일 원리)

3.7.1.3 자기 결합 회전과 평행이동

자기 커플링은 용접 밀봉 회전 또는 선형 피드스루에 사용됩니다. 이들은 진공에서 회전/이동 가능한 자석이 장착된 로터를 구동하는 외부 정렬 영구 자석들로 구성됩니다. 두 부품 모두 얇은 벽 파이프로 서로 완전히 진공 밀봉되어 있습니다. 내부 및 외부 로터의 자석들 사이의 거리는 이들 사이의 커플링 힘이 가능한 한 크도록 하기 위하여 가능한 한 짧아야 합니다. 로터 내부는 이동해야 할 어플리케이션에 연결되어 있고, 외부 자기 로터는 수동으로 이동하거나 모터로 구동됩니다. 내부 베어링은 진공에 적합한 건조윤활로 윤활됩니다.

중중 금속으로 만들어진 고성능 자석이 사마륨 코발트 자석과 같이 거의 접지되지 않은 채로 사용됩니다. 이것들은 베이크 아웃 시 발생하는 것처럼 고온에 동시에 뛰어난 저항을 보이는 가능한 한 가장 높은 강도를 보장합니다. 이런 자기 결합 시스템은 UHV 어플리케이션에 적합합니다. 자기장이 대부분 차폐되어 있다 해도 자기장 라인의 확산은 완벽하게 회피될 수 없습니다. 사용자는 따라서 자체 어플리케이션이 잔류 자기장에 충분히 저항하는지를 확인해야 합니다.

자기 결합 시스템을 사용하면 회전 및 선형 동작 및 동시 회전/선형 동작이 수행될 수 있습니다. 전송 가능한 변위력과 토크는 자석의 수와 배열에 의해 제한됩니다. 달성 가능한 정확도는 이동할 질량에 따라 달라집니다. 자기장은 두 커플링 파트너 사이에서 스프링처럼 작용합니다. 외부의 힘이나 토크가 높을수록 내부 및 외부 로터 사이의 위치 편차는 더 커집니다. 외부의 힘과 시간이 최대 허용 가능 값과 비교해서 낮을 경우 이동은 매우 정확하게 전달될 수 있습니다.

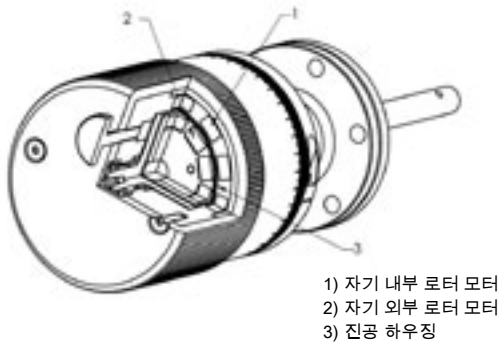


그림 3.26: 자기 결합 UHV 회전 피드스루

3.7.1.4 밀봉 탄성 중합체 회전과 평행이동

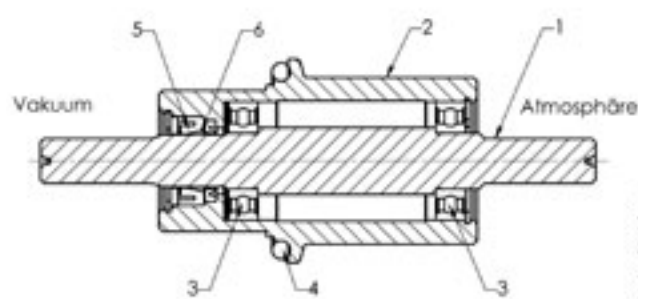
동적 응력의 영향을 받는 진공 적합 실의 경우 특수한 탄성 중합체 실이 사용되고, 이것들은 중중 FKM (불소 성 중합체) 재료로 만들어집니다. 하우징, 실, 작동기 샤프트 사이의 제한된 구조 조정은 신중히 행해져야 하고, 표면 마감의 설계 및 실행에도 같은 내용이 적용됩니다.

빈번한 이동 및 밀봉 효과 증가의 경우 탄성 중합체 실은 이동하는 접촉 포인트에서 윤활되어야 하는데, 이는 마찰을 줄여주고 빠른 마모를 방지하고 표면의 작은 불순물들을 없애 줍니다. 최대 작동 및 베이크아웃 온도에 적합한 진공 그리스 또는 오일을 선택할 때 이들의 속성이 특히 중기압이 고려되어야 합니다.

탄성 중합체 밀봉 피드스루는 부분적으로만 구울 수 있습니다. 또한 그리스의 구성품이나 소량의 탄화수소가 어플리케이션과 호환 가능한지 검사되어야 합니다. 이런 제한을 고려할 때 탄성 중합체 밀봉 기계적 피드스루는 진공 품질에 대한 가장 높은 요구가 우선 요구되지 않을 경우 기능적 원칙을 가진 더 비싼 장치에 대한 경제적 대안을 대표합니다.

연속 작동기 샤프트의 이점은 대기 측면 구동으로 진공 측면 어플리케이션에 직접 연결되는 것입니다. 재생 또는 부하의 존 위치 설정 오류는 없습니다. 작동기 샤프트의 치수 측정 및 장착에 따라 커다란 부하도 이동될 수 있습니다.

탄성 중합체 밀봉 피드스루를 사용하면 회전 및 선형 동작과 동시 회전/선형 동작이 수행될 수 있습니다.



- 1) 샤프트
- 2) 하우징
- 3) 얇이 파인 볼 베어링
- 4) 오링
- 5) 방사상 샤프트 실 링
- 6) 진공 그리스 저장 탱크

그림 3.27: 탄성 중합체 밀봉 회전 피드스루

3.7.1.5 펌핑 공간이 있는 슬라이딩 가스켓 경우 회전

자유로운 통과가 가능한 조작기와 서로 자유롭게 회전 가능한 플랜지를 제조하는 유일한 방법은 슬라이딩 가스킷을 사용하는 것입니다. 슬라이딩 가스킷만으로는 UHV-밀폐 분리를 제공하지 못하기 때문에 여러 개의 와이어가 직렬로 연결되고 공간이 비워집니다. 일반적으로 세 개의 특수 PTFE 슬라이딩 가스킷이 직렬로 설치됩니다. 첫 번째 공간에는 한 개의 유압 펌프로 충분합니다. 내부에 UHV 조건이 우세하다면 추가 단간 펌프가 요구되며, 여기에 고진공 펌프가 연결됩니다.

### 3.7.2 정확도, 반복 가능 정밀도, 해상도

조작기와 기계적 피드스루는 서로 다른 많은 업무가 있습니다. 업무는 특정한 속도로 연속 선형 및 회전 이동하는 것에서 정밀한 위치 설정 업무까지 다양합니다. 분석용 표본 전송, 처리실 사이의 연속 제품 이동 또는 측정 지점에서의 위치 측정 헤드와 같은 업무는 종종 0.1~1 mm의 위치 정확도만을 요구합니다. 다른 위치 설정 공정은 최소 마이크로미터의 가장 정확한 반복 가능 정밀도를, 스캔과 같은 업무에서는 1 µm의 가장 미세한 해상도를 요구합니다.

조작기 또는 기계적 피드스루의 선택에 대한 요구조건을 정확히 인식할 수 있기 위해서는 장비의 속성과 오류의 소스 뿐만 아니라 다음 정의를 이해하는 것이 중요합니다.

**정확도(정밀도)**는 원하는 위치와 실제 도달한 위치 사이의 편차를 설명합니다. 한 위치에서 시작하여 수동으로 한 눈금 판독하거나 한 모터를 구동하고 제한된 수의 눈금 이동 또는 모터 단계에 의하여 결정된 위치에서 끝나는 것.

따라서 정확도는 다양한 요인들에 의해 결정됩니다. 완벽하다고 주장할 수 없다면, 자주 고려해야 할 몇 가지 측면은 다음과 같습니다. 눈금 판독은 얼마나 정확한가? 바뀌는 얼마나 정확히 이동될 수 있는가? 모터 단계의 구분은 얼마나 큰가? 이동이 모터 단계를 정확히 따르는가? 게다가 안내서 및 구동 구성품의 속성은 다음과 같은 정확도에 중요합니다. 스프링 구동의 피치 오차와 재생은 얼마나 큰가? 선형 유도의 이상적인 선두와의 편차는 얼마나 큰가? 게다가 외부 부하의 부착물 또는 공압은 구동 및 유도 장치의 변형을 유발합니다. 조작기가 적절한 안정성을 보장하지 않을 경우 연결 플랜지로 대피하는 동안 이동 가능한 플랜지가 기울어집니다.

**반복 가능 정밀도**는 일정한 위치에 다시 도달할 수 있는 편차를 설명합니다. 이것은 정밀도보다 더 좋거나 같습니다. 왜냐하면 모든 오류가 다 기록되는 것은 아니기 때문입니다. 예를 들면 구성품의 재생과는 달리 스프링 피치 오류 또는 선두 편차는 영향을 주지 않습니다.

**해상도**는 이동의 가장 작은 가능한 증분을 설명합니다. 피치 오류 또는 유도 정확성 역시 영향을 주지 않습니다. 눈금의 판독 가능성 또는 모터의 최소 증분은 여기서 중요합니다. 이에 대한 요구조건은 유도 및 구동 유닛이 사양을 따르는 것입니다. 예를 들어 구성품의 탄성과 정적 마찰과 동적 마찰의 차이 때문에 슬라이딩 마찰 파트너(스틱 슬립 효과) 사이의 해제가 발생한다면 이런 효과가 해상도를 결정할 수 있습니다. 재순환 볼 시스템은 이런 효과가 없고, 위치 설정 업무를 요구하기 때문에 슬라이드 유닛보다 선호됩니다.

### 3.7.3 기술 장비와 특성

조작기와 기계적 피드스루는 기계적으로 단순하거나 복잡하게 설계될 수 있습니다. 그러므로 각각의 장비가 정확도, 내구성, 정비와 관련한 요구조건을 충족시키는지, 인체공학적 작동가능성이 확보되는지를 자세히 관찰해야 합니다.

#### 3.7.3.1 Z-축 정밀 조작기의 설계 특징

스핀들 구동 및 유도를 갖춘 재순환 볼 시스템의 사용은 일반 사다리꼴 및 미터법 나사 구동 또는 슬라이딩 유도에 대해 여러 가지 중요한 이점이 있습니다. 재순환 볼 시스템은 마찰력이 낮기 때문에 효율성이 높고 명목 직경이 크기 때문에 특히 선호됩니다. 외부 부하가 높음에도 불구하고(한기 상태에서 압력 차이) 중간 작동 힘으로 편안한 이동 조정이 가능합니다. 앞에서 설명한 스틱 슬립 효과가 없으므로 매우 세밀한 해상도를 사용 가능하고, 작동을 어렵게 만들고 특히 모터 구동에 부정적인 영향을 주는 박리 토크가 일어나지 않습니다. 모터를 지원하는 속 기어는 여기서 필요하지 않습니다. 다른 이점은 무척 낮은 마모 수준입니다. 그리스의 오염을 이끌지 않는 깨끗한 환경에서는 고품질 장기 고온 그리스로 구성된 정품 윤활이 실제로 무한정 지속되므로 정비가 필요하지 않습니다.

굴곡에 저항하는 가이드 바디는 정밀도에 중요한 영향을 줍니다. 스테인레스강으로 만들어진 안정적인 U-모양의 선택은 저급 재료 사용 및 관련 중량으로 더 큰 강직성을 유발합니다. U-모양 내부에서는 가이드 레일이 튼튼한 후면 판에 나사로 고정됩니다. 지지대가 없어 움직임이 자유로운 샤프트 가이드와 비교할 때 프로파일 레일은 무거운 부하를 받으면서도 전체 이동 범위에서 모든 공간 축을 따라 정밀한 조정을 수행하는 낮은 변형 구조를 갖습니다.

벨로우즈 유닛은 일반적으로 총 10,000 사이클의 이동 사용을 위하여 설계됩니다. 벨로우즈의 교환 가능성은 고품질 가이드 및 구동 바디를 가진 조작기가 여전히 사용될 수 있음을 보장합니다.



그림 3.28: Z-축 정밀 조작기

### 3.7.3.2 XY-축 정밀 조작기의 설계 특징

XY 축 정밀 조작기의 설계는 매우 안정적인 설계가 특징이며, 이는 중량, 크기, 안정성의 균형을 나타냅니다. 이것의 중량 베어링 기본 구조는 비틀림 저항이며, 알루미늄 합금으로 만들어진 표면은 양극 산화 처리되어 오래 보호됩니다.

정밀 교차 롤러 베어링 가이드는 최대의 정밀도로 긴 수명을 보장합니다. 두 개의 축은 커다란 구동 드럼이 있어서 마이크로미터 나사를 통하여 수동으로 작동됩니다. 이것은 눈금을 잘 판독할 수 있는 단순하고 인체공학적인 설정을 보장하고 그러므로 높은 해상도를 이끕니다.

벨로우즈 유닛 주위의 이간 거리는 가열 슬리브의 조립을 허용하므로 균등하게 가열될 수 있습니다. 다시 말하면 벨로우즈 유닛은 쉽게 교체가 가능합니다. 그래서 구성된 사이클 수가 지난 후에 교환이 가능합니다.



그림 3.29: XY-축 정밀 조작기





# 4 진공 생성

## 4.1 진공 펌프 - 작동 원리와 속성

### 4.1.1 진공 펌프의 분류

진공 펌프는 기체 이송 펌프와 기체 결합 또는 포획 펌프로 분류됩니다. 기체 변위 진공 펌프는 제한 없이 사용될 수 있지만 기체 결합 진공 펌프는 기체 흡수 능력에 제한이 있으므로 일정한 공정 종속 간격마다 재생되어야 합니다.

기체 이송 펌프로 불리기도 하는 기체 변위 펌프는 양변위 펌프 아니면 운동 진공 펌프로 분류됩니다. 양변위 펌프는 밀봉 영역에서 대기 또는 다운스트림 펌프 단계로 기체를 변위

합니다. 운동 펌프는 기계적 구동 시스템을 통해서 또는 펌핑 섹션이 끝날 때 응축되는 유도된 증기 흐름을 통해서 펌핑 방향의 기체를 가속함으로써 기체를 변위합니다. 기체 결합 진공 펌프는 잔류 기체 제거를 통하여 특히 활발한 점착 기면에 기체를 결합하거나 적절한 온도에서 기체를 응축합니다. 화학 흡착은 증발 및/또는 승화 또는 스퍼터링을 통하여 계속 순수한 게터 표면을 생성하는 게터 펌프로 알려진 펌프 유형에 의해 기술적으로 수행됩니다. 결합된 기체 입자는 게터 표면과 상호 작용하기 전에 이온 게터 펌프에서 이온화할 경우 스퍼터링함으로써 게터 표면을 청소하는 동시에 스퍼터링된 재료에 의해 묻힐 수 있습니다. 비증발 게터(NEG)는 반응성

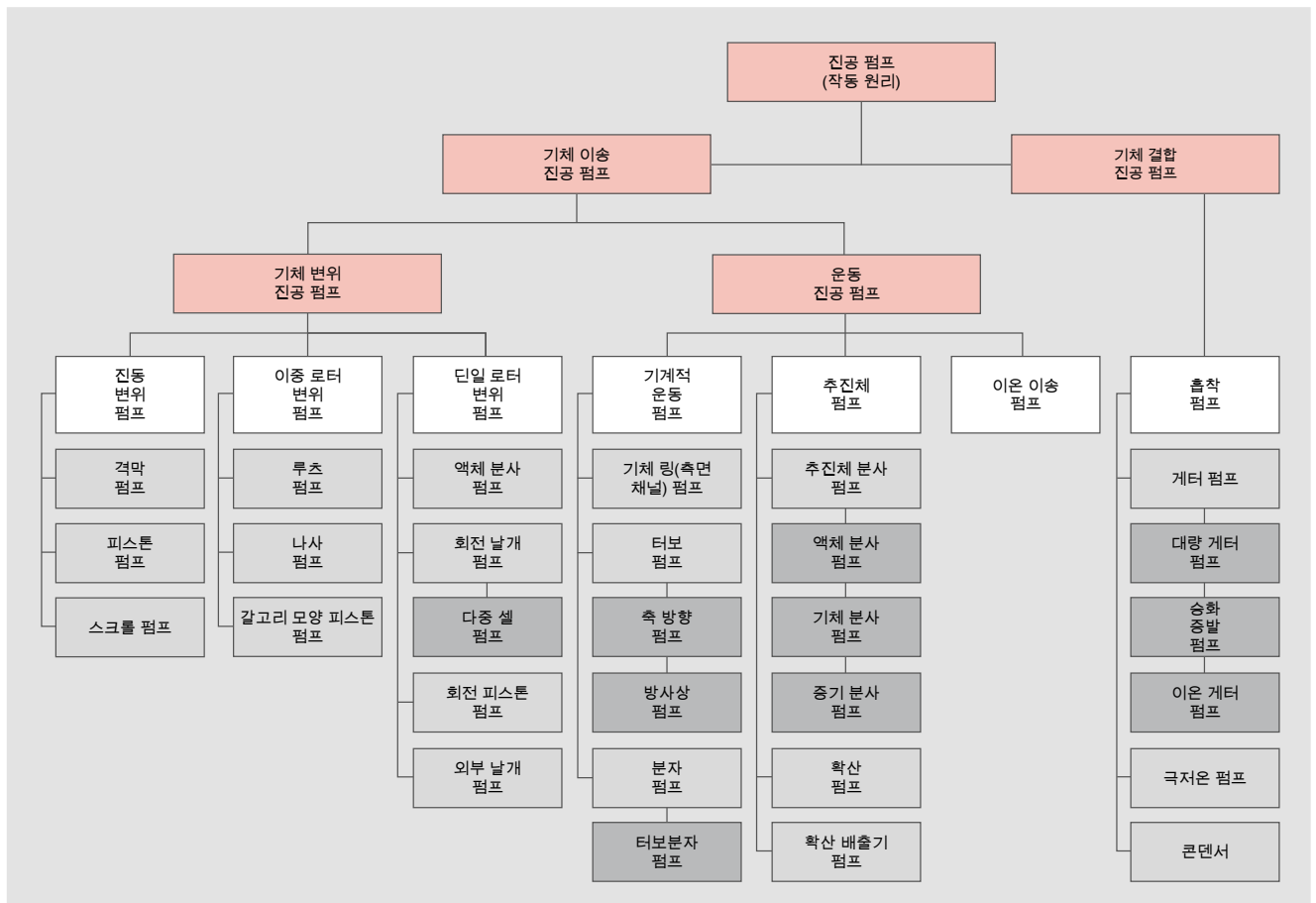


그림 4.1: 진공 펌프의 개요

이 무척 높은 함금(주로 지르코늄 또는 티타늄)으로 구성되고, 매우 큰 특정한 공간을 차지합니다. 기체는 미세 구멍을 통하여 게터 재료의 더 깊은 층으로 침투하여 그곳에서 안정적인 화합물로 결합됩니다.

#### 4.1.2 펌프 속도와 처리량

$$\text{펌프 속도 } S_0 = \frac{dV}{dt}$$

(공식 1-17)는 진공 펌프의 유입구의 횡단면을 통한 평균 부피 흐름입니다. 다이어그램에서 체적 유량을 또는 펌프 속도는 Y 축에 표시되고 유입구 압력은 X 축에 표시됩니다. 기하학 때문에 펌프가 도달할 수 있는 최대 펌프 속도는 자신의 정격 펌핑 속도라 불립니다. 펌프 속도의 결정은 기준 표준 ISO 21360-1:2012에 설명되어 있습니다. 펌프 속도는  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 로 표시됩니다.  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$  및  $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ 도 관례적인 단위입니다.

$$\text{처리량 } q_{pV} = S \cdot p = \frac{dV}{dt} \cdot p$$

(공식 1-16)은 유입구 압력에 따른 진공 펌프의 기체 처리량을 의미합니다. 이것은  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  또는  $\text{hPa} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1} = \text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 표현됩니다. 기체 변위 펌프로 구성되는 펌핑 스테이션의 경우 직렬로 연결된 모든 펌프는 동일한 처리량을 갖습니다.

#### 4.1.3 최종 압력과 기본 압력

최종 압력  $p_e$ 는 기체 유입구가 없는 제한된 조건에서 끝 마개 된 진공 펌프의 압력에 의해 점근적으로 도달되는 가장 낮은 압력입니다. 어떤 펌프가 최종 압력에서 작동할 경우, 그 자체의 역류 손실만 변위되기 때문에 사용할 수 있는 펌프 속도는 0이 됩니다. 최종 압력은 이론적인 값입니다. 오늘날에는 최종 압력 대신 기본 압력이 지정됩니다. 기본 압력에 도달하기 위한 조건은 표준 ISO 21360-1:2012에 지정됩니다. 기본 압력은 특정한 시간 이내에 도달되어야 하기 때문에 최종 압력보다 대개 높습니다.

#### 4.1.4 압축비

방전 압력  $p_{outlet}$ 과 인입 압력  $p_{inlet}$  사이의 최대 압력 비율은 압축비라 불립니다.

$$K_0 = \frac{p_{outlet}}{p_{inlet}}$$

공식 4-1: 압축비

끝 마개 된 유입구의 경우 압축비(제로 배달이기 때문에  $K_0$ 라 불림)는 일정한 대기압에 반하여 배출되지 않는다면 출구 측면에서의 기체 유입을 통해 측정됩니다.

#### 4.1.5 직렬로 연결된 펌핑 단계의 펌프 속도

펌프 속도가  $S_0$ 이고 압축비가  $K_0$ 인 진공 펌프를 생각해봅시다. 펌프는 전도성  $C_R$ 과의 격차를 통하여 역류 손실을 입습니다. 유입구 압력을  $p_{inlet}$ , 방전 압력을  $p_{outlet}$ 이라 합니다. 펌프 속도가  $S_b$ 인 추가 펌프가 출구 측면에 연결됩니다. 이것은 예를 들어 루츠 펌핑 스테이션 또는 터보 펌핑 스테이션이 될 수 있습니다.

펌프 속도가  $S$ 인 전체 펌핑 스테이션은 기체 수량을 전달합니다.

$$q_{pV} = p_{inlet} \cdot S = p_{outlet} \cdot S_b = S_0 \cdot p_{inlet} - C_R (p_{outlet} - p_{inlet})$$

공식 4-2: 펌프 연결 기체 흐름

역류 전도성  $C_R$ 에 대해서는  $C_R \ll S_0$ 일 때 다음이 적용됩니다.

$$C_R = \frac{S_0}{K_0}$$

공식 4-3: 역류 전도도

그리고 실질적인 압축비에 대해서는

$$K = \frac{p_{outlet}}{p_{inlet}} = \frac{S}{S_V}$$

공식 4-4: 실질적인 압축비

위 공식을 사용하면, 2단계 펌핑 스테이션의 펌프 속도  $S$ 는 따라서 다음과 같습니다.

$$S = \frac{S_0}{1 - \frac{1}{K_0} + \frac{S_0}{K_0 \cdot S_V}}$$

공식 4-5: 펌프 속도 회귀 공식

이 공식은 최종 단계의 펌프 속도  $S_b$ 로 시작하여 후속 단계  $K_0$  및  $S_0$ 를 삽입함으로써 직렬로 연결된 다중 펌핑 단계에 대한 회귀 공식으로 사용될 수도 있습니다.

#### 4.1.6 기체 밸러스트

공기 또는 다른 비응축 기체가 진공 펌프 속으로 받아들여지는 방법을 기체 밸러스트라 부릅니다. 펌프가 기체 밸러스트 없이 해당 온도에서 펌프에 응축할 증기를 변위하고 있다면 기체 밸러스트는 증기가 응축되기 전에 출구 밸브가 열리도록 하고, 증기는 밸러스트 기체와 함께 방전됩니다. 선택된 불활성 또는 공정 기체 뿐만 아니라 대기가 모두 밸러스트 기체로 사용됩니다. 기체 밸러스트의 사용은 진공 펌프의 도달 가능한 기본 압력을 살짝 증가시킵니다. 결과적으로 기체 밸러스트 진공 펌프의 경우 기본 압력이 기체 밸러스트가 있을 때나 없을 때나 모두 지정됩니다.

### 4.1.7 수증기 허용치/수증기 용량

수증기 허용치  $p_w$ 는 정상적인 주변 조건(20°C,  $p_0 = 1,013$  hPa)에서 진공 펌프가 순수한 수증기를 계속 유입 및 변위할 수 있는 최대 수증기압입니다. 이것은 주어진 펌프 온도에서 펌프 속도, 기체 밸러스트 흐름, 상대 습도, 포화 증기압으로 부터 계산될 수 있습니다.

$$p_w = \frac{q_{pV, ballast} \cdot (p_s - p_a)}{S \cdot (\alpha \cdot p_0 - p_s)}$$

공식 4-6: 수증기 허용치

$p_w$	수증기 허용치
$q_{pV, Ballast}$	기체 밸러스트 흐름
$S$	펌프의 펌프 속도
$p_s$	배기 가스 온도에서 수증기의 포화 증기압
$p_a$	공기의 수증기 분압
$p_0$	대기압
$\alpha$	보정 계수, 무차원

보정 계수는 출구 밸브를 열기 위해서는 대기압보다 더 높은 압력이 필요하다는 사실을 고려합니다. 예제에서  $\alpha$ 는 1.1로 가정될 수 있습니다.

수증기 허용치는 압력의 치수이고 hPa로 표현됩니다.

DIN 28426은 수증기 허용치를 결정하기 위한 간접 공정의 사용을 설명합니다. 펌프의 배기 온도가 상승하고 기체 밸러스트 흐름  $q_{pV, Ballast}$ 가 증가하면 수증기 허용치는 증가합니다. 이것은 더 높은 주변 압력에서 감소합니다.

기체 밸러스트가 없으면 출구 온도가 100°C 미만인 진공 펌프는 소량의 순수 수증기조차도 변위할 수 없습니다. 그럼에도 불구하고 수증기가 기체 밸러스트 없이 배출될 경우 응축물이 펌프 오일에서 용해됩니다. 결과적으로 기본 압력은 상승하고 응축물은 부식 손상을 초래합니다.

수증기 용량은 진공 펌프가 계속 유입하여 20°C 및 1,013 hPa의 주변 조건에서 수증기의 형태로 변위할 수 있는 물의 최대 부피입니다.

$$q_{m, water} = p_w \cdot S \cdot M \cdot (RT)^{-1}$$

공식 4-7: 수증기 용량

$q_{m, water}$	수증기 용량
$M$	물의 몰 질량
$R$	일반 기체 상수
$T$	절대 온도

수증기 용량은  $g \cdot h^{-1}$ 으로 표현됩니다. 따라서 이것은 수증기 질량 유량율입니다. 기호  $c_w$ (수증기 용량)는 일반적으로 이것을 공식으로 표현하기 위하여 사용됩니다.

### 4.1.8 밀봉 기체

부식성 공정 기체를 배출할 때는 기체가 펌프의 부품을 공격할 위험이 있습니다. 이런 위험에 대응하기 위해서는 민감한 부품들이 연속적인 불활성 기체 흐름에 의해 보호되어야 합니다. 펌프는 따라서 제한된 위치에서 기체가 펌핑 시스템으로 흘러 들어가는 기체 유입 시스템에 맞춰집니다. 터보분자 펌프에서 보호가 필요한 것은 주로 베어링과 모터 컴파트먼트입니다. 밀봉 기체의 모터 컴파트먼트 유입은 먼지와 입자가 운할재 보유하고 속으로 들어가 운할재와 섞이는 것을 방지할 뿐만 아니라 운할재나 베어링의 부식에 민감한 구성품들과 공격적인 기체들의 화학 반응에 반하여 보호합니다. 모터를 보호하고 입자들이 들어가 샤프트와 비상 베어링 사이의 접촉을 유발하지 않도록 방지하기 위한 밀봉 기체의 사용은 예를 들어 운할재가 없는 터보 펌프에도 권장됩니다.

베어링에 대한 밀봉 기체 이외에도, 처리 가능한 건조 배압 펌프는 정화기체가 공정 펌프의 개별 펌핑 단계에 주입되도록 할 수도 있습니다. 처리 의존적 정화 기체 흐름은 보정된 노출이나 유량 조절기(질량 유량 조절기, MFC)의 압력 조절기 업스트림을 사용하여 조정되고, 압력 센서와 스위치에 의해 모니터링됩니다.

## 4.2 회전 날개 진공 펌프

### 4.2.1 설계 / 작동 원리

회전 날개 진공 펌프는 오일 밀봉 회전 변위 펌프입니다. 펌핑 시스템은 하우징(1), 편심 설치 로터(2), 원심력과 탄성력 하에서 방사상으로 이동하는 베인(3)과 유입구 및 출구(4)로 구성됩니다. 사용 가능한 경우, 유입 밸브는 작동 중에 항상 열려 있는 진공 안전 밸브로 설계됩니다. 작업 챔버(5)는 하우징 내부에 위치해 있고 고정자, 로터, 날개에 의해 제한됩니다. 편심 설치 로터와 날개는 작업 챔버를 다양한 부피를 가진 두 개의 분리 컴파트먼트로 나눕니다. 로터가 회전할 때 기체는 이차 날개에 의해 밀봉될 때까지 확대 흡입실로 흘러 들어갑니다. 에워싸인 기체는 배출 밸브가 대기압에 반하여 열릴 때까지 압축됩니다. 배출 밸브는 오일 밀봉됩니다.

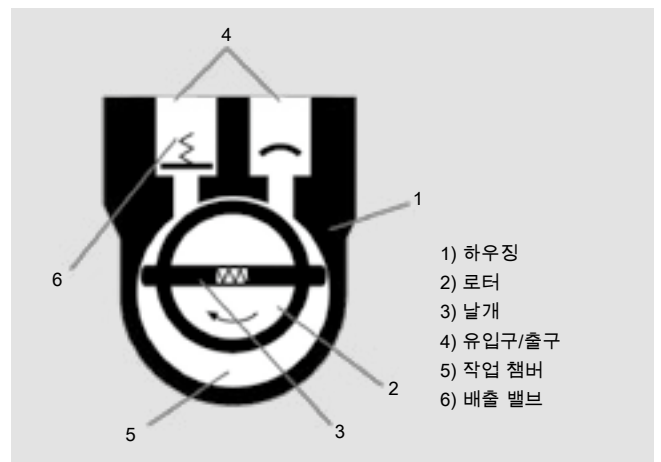


그림 4.2: 회전 날개 펌프의 작동 원리

밸브가 열리면 소량의 오일이 흡입실로 들어가서 하우징(고정자)에 반하여 날개를 윤활할 뿐만 아니라 밀봉합니다.

기체 밸러스트가 작동되는 경우엔 외부로 난 구멍이 열려서 전면의 밀봉된 흡입실로 흘러 들어갑니다. 그 결과 배출 밸브를 여는데 필요한 압력은 압축 펌핑 단계 동안 상대적으로 낮은 압축에 도달합니다. 이는 변위된 기체/증기 혼합물이 증기가 응축되기 시작하기 전에 배출되게 해줍니다. 기체 밸러스트와 함께 작동하는 동안 도달된 최종 압력은 기체 밸러스트 없이 작동될 때보다 더 높습니다.

#### 작동 유체, 오일

작동 유체라고도 불리는 펌프 오일은 회전 날개 펌프에서 수행해야 할 여러 가지 일이 있습니다. 움직이는 모든 부품을 윤활하고, 유입구와 출구 사이의 좁은 틈새 뿐만 아니라 배출 밸브 아래에서 불감 부피를 채웁니다. 날개와 작업 챔버 사이의 틈새를 압축하고, 추가로 열 전달을 통하여 최적 온도 균형을 보장합니다.

#### 다 단계 펌프

회전 날개 진공 펌프는 1단계 및 2단계 버전에 설치됩니다. 2단계 펌프는 1단계 펌프보다 더 낮은 최종 압력을 달성합니다. 게다가 최종 압력에서 기체 밸러스트의 효과는 더 낮습니다. 왜냐하면 기체 밸러스트는 높은 압력 단계에서만 받아들여지기 때문입니다.

#### 진공 안전 밸브

해당 펌프 유형에 따라 회전 날개 진공 펌프에 진공 안전 밸브가 장착될 수 있습니다. 진공 안전 밸브는 의도적인 정지 또는 비의도적인 정지의 경우에 진공실에서 펌프를 분리하고, 오일이 진공실로 흘러드는 것을 방지하기 위하여 변위된 기체를 사용하여 펌핑 시스템을 환기합니다. 펌프 전원을 켜 후에 진공 안전 밸브는 펌프 내 압력이 진공실과 근사한 압력에 도달하면 잠시 지연된 후에 열립니다.

#### 4.2.2 어플리케이션

회전 날개 진공 펌프는 전체 저진공 및 중간 진공 범위에서 범용으로 사용될 수 있습니다. 해당 압력 범위에 따라 1단계 또는 2단계 펌프가 사용될 수 있습니다. 펌프 작동 압력 및 대기압에서 펌프 다운 매개체가 응축되지 않는 이상적인 작동 조건이 항상 존재합니다.

#### 증기

압축 단계 동안 펌프 속에서 완전히 또는 부분적으로 응축될 수 있는 증기는 종류 및 건조 공정 동안 변위되어야 합니다. 이 경우에 기체 밸러스트 밸브를 여는 것은 응축 없이 펌프를 통하여 증기를 변위하는 데에 도움이 됩니다. 하지만 증기 호

환성이 응축을 방지하기에 항상 충분한 것은 아닙니다. 응축물은 오일과 혼합되어 최종 압력이 증가하게 만들고 작동 유체의 윤활 용량을 감소시킵니다. 이 요인들은 펌프 내부에서 부식을 일으킬 수 있습니다. 증기를 배출하기 전에 펌프는 기체 밸러스트와 함께 최소 30분 동안 가열되어야 합니다. 작동 유체의 더 높은 온도는 응축을 감소시킵니다. 응축을 감소시키는 추가 측정에는 가능한 최저 출구 압력의 도달과 응축물의 분리 제거가 포함됩니다. 유입구와 출구의 양측면에 있는 응축물 분리는 이런 목적으로 사용되어야 합니다. 출구의 배압은 오일 분무 필터와 수직 배기 가스 라인으로 방지되어야 합니다. 추출 시스템이 사용 가능할 경우 출구는 추출 시스템에 연결되어야 합니다.

#### 먼지, 입자, 화학 물질

일정한 한계 내에서 필터와 분리가 마모와 부식으로부터 진공 펌프를 보호할 수 있습니다. 폴리에스터(SAS)가 충전된 분리기나 에폭시 유리 마이크로화이버(DFT) 필터 장착물은 먼지를 결합합니다. 활성 탄소 필터(FAK)는 무기질 증기를 결합하고, 필터 충전은 대체 가능합니다.

유입 탄화수소(유증기)는 가열된 촉매 트랩(URB)에서 촉매 반응으로 소각되고, 제올라이트 트랩(ZFO 또는 ST)은 다양한 증기를 흡착합니다. 포화될 경우엔 스스로를 베이킹 아웃하여 재생될 수 있습니다. 응축물은 응축물 분리기(KAS 또는 CT)에 수집되어 수동으로 배출될 수 있습니다. 화학적 오일 필터(OFC)는 회전 날개 펌프에 통합된 오일 펌프의 도움으로 펌프 오일을 청소합니다.

기체 처리량이 높고 기체 밸러스트와 함께 작동될 때, 오일 분무는 펌프 외부에서 혼입됩니다. 100 kPa · m³의 기체 처리량에서는 4 ml의 오일 손실을 가정할 수 있습니다. 유증기는 오일 분무 필터(ONF 또는 OME)에서 분리되어 추가 회수 라인(ORF or ODK)을 통하여 펌프의 오일 순환 체계로 회수될 수 있습니다.

그러나 펌프 오일을 화학적으로 공격하거나 증기압이 너무 낮아 기체 밸러스트와 위에서 언급한 부속품이 있음에도 불구하고 펌프 내의 응축을 피할 수 없는 물질들이 변위될 경우, 서로 다른 종류의 배압 펌프가 선택되어야 합니다.

#### 4.2.3 포트폴리오 개요

파이퍼 베콤 회전 날개 펌프는 1단계 및 2단계 버전으로 사용 가능합니다. 이들의 펌프 속도와 도달 가능한 최종 압력은 본선 주파수에 따라 달라집니다.

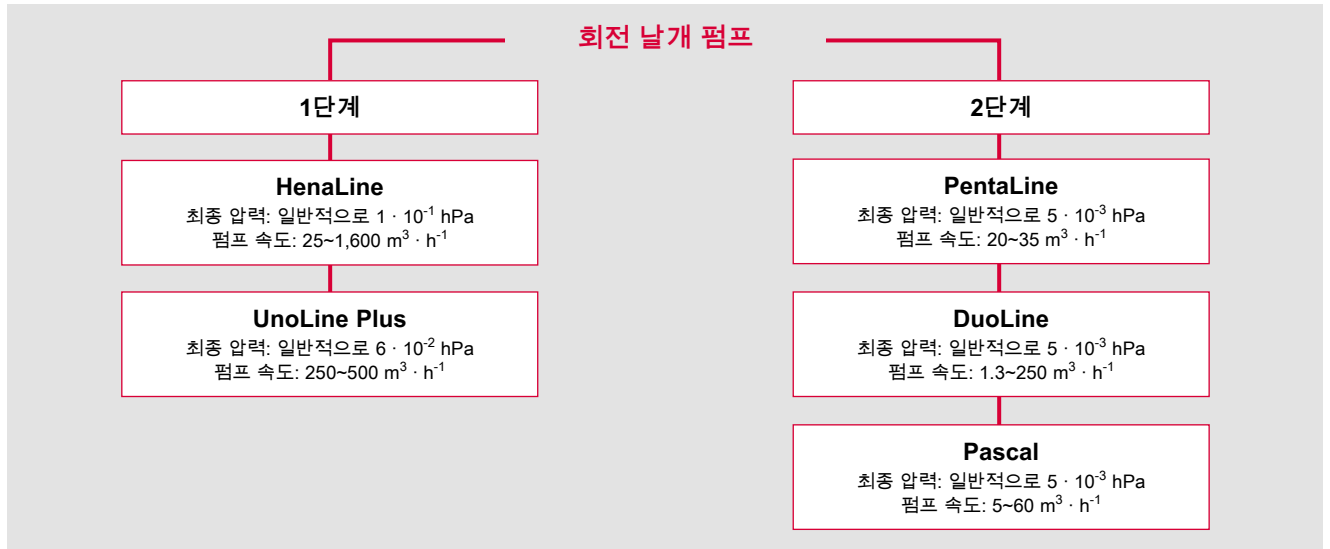


그림 4.3: 파이프 베콤 회전 날개 펌프

#### 4.2.3.1 1단계 회전 날개 진공 펌프

##### HenaLine

HenaLine 1단계, 오일 밀봉 회전 날개 진공 펌프는 최종 압력이 0.3 hPa로 낮아진 상태에서 25~1,600 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>의 펌프 속도에서 진공을 생성합니다. 이 펌프는 많은 산업 및 연구 환경에서 범용으로 사용될 수 있습니다. 이 펌프는 독립형 펌프로 작동될 수 있거나 펄핑 스테이션으로 통합될 수 있습니다. 적절한 부속품을 사용하면 이 펌프들 역시 가장 열악한 작동 조건에서의 사용(예: 사이클 모드 작동에서 뿐만 아니라 높은 유입구 압력에서도)에 적합합니다. 오일 분부 필터, 오일 회수 시스템, 진공 안전 밸브는 모두 표준 장비에 포함되어 있습니다. 이것들은 변 공기의 오염을 방지할 뿐만 아니라

펌프와 시스템을 보호합니다. 기체 밸러스트 밸브는 증기와 다른 공정 증기들이 펌프 다운되도록 해줍니다. Hena i-시리즈 펌프들은 더 낮은 최종 압력 및 감소된 기체 밸러스트 흐름을 가진 분석적 어플리케이션을 위하여 특별히 개발되었습니다.

##### UnoLine Plus

UnoLine Plus 펌프들은 산업 어플리케이션에 채용되어 사용될 수 있습니다. 이 회전 날개 진공 펌프들은 파이프 베콤 루츠 펌프의 독립형 펌프 및 배압 펌프로써 입증된 트랙 기록을 갖고 있습니다. 약 6 · 10<sup>-2</sup> hPa의 최종 압력에 도달할 수 있습니다. 이 펌프들은 수냉식이고 먼지와 분진에 특히 민감합니다. 오일 재생 시스템이 장착되어 있습니다. 응축물, 오염

HenaLine			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
Hena 25	25 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	전자 빙 응집, 백열전구 제조, 표면 코팅, 진공 건조, 누출 감지, 금속 공학, 기체 복원, 부하 락 어플리케이션, 시뮬레이션 챔버
Hena 40	40 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	
Hena 40i	40 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.2 hPa	
Hena 60	63 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	
Hena 60i	63 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.2 hPa	
Hena 100	100 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	
Hena 200	200 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	
Hena 250	250 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	
Hena 300	300 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	
Hena 400	400 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	
Hena 630	630 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.3 hPa	
Hena 1000	1,000 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1.0 hPa	
Hena 1600	1,600 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	0.7 hPa	

표 4.1: HenaLine 성능 데이터(모든 데이터는 50 Hz 작동 참조)

UnoLine Plus			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
BA 251	250 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	5 · 10 <sup>-2</sup> hPa	모든 산업 어플리케이션(금속 공학, 변압기 건조, 코팅, 화학)에 적합
BA 501	500 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	6 · 10 <sup>-2</sup> hPa	

표 4.2: UnoLine Plus 성능 데이터(모든 데이터는 50 Hz 작동 참조)

물, 먼지 입자는 작동 유체로부터 분리되어 증기 분리에 모였다 배출됩니다. UnoLine Plus 펌프는 조정 가능한 냉각수 제어기가 있어 요구되는 작동 온도를 유지할 수 있습니다. 이 펌프들에는 증기를 펌프 다운하기 위하여 기체 밸러스트가 장착되어 있습니다.

#### 4.2.3.2 2단계 회전 날개 진공 펌프

2단계 회전 날개 펌프는  $10^{-3}$  hPa의 압력보다 낮은 저진공 및 중간 진공 범위의 어플리케이션에 적합합니다. 통합된 기체 밸러스트 공급 원료는 응축 가능한 증기가 펌프 다운 되게 해줍니다.

#### PentaLine

PentaLine 시리즈 펌프들은 혁신적인 구동 개념이 특징입니다. 이 펌프들은 펌핑 시스템의 로터 샤프트에 로터가 직접 장착되어 있는 전자적으로 제어된 무브러쉬형 직류 모터로부터 전원을 공급 받습니다. 이 펌프들은 전자 변환기를 경유한 교류 전류를 공급 받습니다. 두 개의 전압 범위 100-120 볼트와 200-240 볼트는 셀렉트 스위치로 선택될 수 있습니다. 이들의 이점에는 일반 회전 날개 펌프보다 에너지 소모가 약 25%~50% 더 낮은 높은 에너지 효율성과 샤프트 피드스가 필요 없는 펌프의 용접 밀봉이 포함됩니다. 최대 펌프

성능이 일시적으로 요구되지 않을 경우엔 펌프의 RPM이 50%의 추가 에너지 절약을 위하여 대기 모드로 환원될 수 있습니다. 이 새 구동 개념 덕분에 펌프가 저온일 경우 심지어 비동시적인 모터와 함께 보통 일어나는 높은 시작 전류를 피할 수 있습니다. 위에서 설명한 기체 밸러스트 공급 원료 이외에도 PentaLine 펌프는 수증기 허용치를 증가시키기 위하여 온도 제어와 함께 작동될 수 있습니다. Pump ON, Standby ON 및 Enhanced Water Vapor Tolerance ON 기능은 PLC-호환 가능 인터페이스 또는 원격 연결로 선택될 수 있습니다.

#### DuoLine

DuoLine 회전 날개 진공 펌프는 펌프의 크기에 따라 교류 또는 직류 모터로부터 전원을 공급 받습니다. 표준 모델 이외에도 다음과 같은 디자인도 사용 가능합니다. 자기 결합 펌프 (Duo M 시리즈)와 부식성 기체 펌프로, 둘 다 자석 커플링이 있을 수도 있고 없을 수도 있습니다(Duo MC 시리즈).

#### Duo M 시리즈

M 시리즈 펌프들은 용접 밀봉된 자석 커플링이 장착되어 있습니다. 이 마모 없는 밀봉 개념이 펌프를 용접 밀봉하여 깨끗하고 환경친화적으로 만듭니다. 자석 커플링은 정비를 최소화하여 상당한 절약을 이끕니다.

PentaLine			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
Penta 20	$22 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	터보 펌프 펌핑 스테이션, 분석, 산업 어플리케이션, 연구 및 개발, 코팅에 이상적으로 적합
Penta 35	$34 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	

표 4.3: PentaLine 성능 데이터

DuoLine			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
DUO 1,6	$1.25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	터보 펌프 펌핑 스테이션, 분석, 연구 및 개발, 코팅
DUO 3	$2.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 6	$5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 11	$9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 35	$32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 65	$62 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 125	$115 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 255	$250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	

표 4.4: DuoLine 성능 데이터

Duo M 시리즈			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
DUO 1,6 M	$1.25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	터보 펌프 펌핑 스테이션, 분석, 연구 및 개발, 코팅, 비폭발성 유독성 기체
DUO 3 M	$2.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 6 M	$5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 11 M	$9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 35 M	$32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 65 M	$62 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 125 M	$115 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	
DUO 255 M	$250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ hPa}$	

표 4.5: Duo M 시리즈 성능 데이터

**Duo MC 시리즈**

MC 시리즈 펌프는 부식성 기체 어플리케이션에 적합합니다. 표준 펌프와 대조적으로 특수한 기체 밸러스트 밸브가 있으며, 이를 통해 불활성 기체가 펌프 속으로 유입될 수 있습니다. 또한 이 펌프들은 특히 화학 물질에 저항력이 있는 특수 날개들이 장착되어 있습니다. MC 시리즈의 모든 부식성 기체 펌프는 화학적 저항 F4 또는 F5(퍼플루오르폴리에터) 작동 유체로 작동 준비 완료됩니다. Duo MC 펌프는 용접 밀봉된 자석 커플링이 기체가 외부로 빠져나가는 것을 방지하기 때문에 유독성 기체의 펌핑에 적합합니다.

**Pascal**

펌프 속도 등급이 5~21 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>인 Pascal 시리즈의 회전 날개 진공 펌프는 직류 또는 교류 모터가 내장되어 있습니다. 유입구 및 출구 플랜지는 이상적인 통합을 위하여 또는 부속품이 부착되도록 하기 위하여 수직 또는 수평이 될 수 있습니다. 표준 범위 외에도 강제 순환하는 I 시리즈와 두 개의 서로 다른 부식성 기체 시리즈도 사용 가능합니다.

**SD 시리즈**

회전 날개 진공 펌프의 SD 시리즈는 비부식성 기체를 위해 설계되었습니다. 자연 순환(펌프 속도 등급이 최대 21 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>)

은 배기 시 오일 방전 양을 감소시킵니다. 낮은 펌프 온도는 장기 작동 시 최종 압력의 오일 역류를 최소로 줄입니다.

펌프 속도 등급이 최대 21m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>인 모든 다른 펌프에서와 마찬가지로 펌프 샤프트 실은 펌프 블록을 분해하지 않고 접근 가능하며 그 결과 필드 정비가 수월합니다.

**I 시리즈**

I 시리즈 펌프는 강제 순환이 장착되어 있습니다. 이것은 SD 시리즈와 비교할 때 수증기 허용치를 향상시킵니다. 강제 순환은 I 시리즈 펌프가 저잡음 수준 및 저진동에 도달하게 해줍니다.

**C1 시리즈**

C1 시리즈의 강제 순환 펌프는 FPM 실, 크롬 산화물 코팅 샤프트, 특수 재료를 사용한 하우징, 날개, 샤프트 슬리브, 투시창으로 인하여 부식성 기체 어플리케이션에 특히 적합합니다. 이 시리즈의 가장 큰 두 모델은 또 오일 필터와 오일 케이스 플러싱 장치를 통합했습니다.

C1 시리즈는 광유를 공급 받습니다.

Duo MC 시리즈			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
DUO 20 MC	20 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	5 · 10 <sup>-3</sup> hPa	부식성 기체 어플리케이션, 화학 연구실, 유독성 비폭발성 기체
DUO 35 MC	32 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
DUO 65 MC	62 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup> hPa	

표 4.6: Duo MC 시리즈 성능 데이터

Pascal SD 시리즈			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
2005 SD	5 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	산업 어플리케이션, 분석, 연구 및 개발, 누출 감지
2010 SD	10 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2015 SD	15 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2021 SD	21 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2033 SD	30 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2063 SD	60 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup> hPa	

표 4.7: Pascal SD 시리즈 성능 데이터

Pascal I 시리즈			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
2005 I	5 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	분석, 연구 및 개발, 건조, 증류
2010 I	10 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2015 I	15 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2021 I	21 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	

표 4.8: Pascal I 시리즈 성능 데이터



**C2 시리즈**

C2 시리즈의 펌프도 강제 윤활이 장착되어 있습니다. 베어링 윤활, 작동 유체의 탈기체화를 위한 증류 기체 플라싱 시설, 특수 재료를 사용한 날개가 있는 이 펌프의 비부식성 기체 장비는 C1 시리즈보다 뛰어납니다. 이 시리즈의 가장 큰 두 모델 역시 압력 센서 및 오일 온도 센서를 위한 연결에 맞춰집니다. 이 비부식성 기체 장비를 갖춘 Pascal C2 펌프는 반도체 제조의 식각 및 코팅 공정에 특히 적합합니다.

C2 시리즈는 과불소화 작동 유체를 공급 받습니다.

Pascal C1 시리즈			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
2005 C1	5 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	부식성 기체 어플리케이션, 화학 연구실, 부하 락 및 이송 챔버, 화학적 어플리케이션, 살균
2010 C1	10 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2015 C1	15 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2021 C1	21 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2033 C1	30 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2063 C1	60 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup> hPa	

표 4.9: Pascal C1 시리즈 성능 데이터

Pascal C2 시리즈			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
2010 C2	10 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	코팅, 반도체(CVD, 플라즈마 식각, 주입), 순수한 산소 펌핑
2015 C2	15 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2021 C2	21 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2033 C2	30 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
2063 C2	60 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-3</sup> hPa	

표 4.10: Pascal C2 시리즈 성능 데이터

오일 유형	설명	도달 가능 최종 압력	어플리케이션	HenaLine, UnoLine Plus, DuoLine, PentaLine, OktaLine	Pascal
P3	표준 어플리케이션용 광유 극히 낮은 증기압	$< 1 \cdot 10^{-3}$ hPa	공기, 비부식성 기체, 주요 기체	■	
A120	첨가제 없는 일반 목적 광유, 50Hz 용 다목적 오일	$< 3 \cdot 10^{-3}$ hPa	공기, 비부식성 기체, 주요 기체; 높은 점도		■
D1	표준 및 특수 어플리케이션용 다이 에스테르 오일	$< 5 \cdot 10^{-2}$ hPa	공기, 비부식성 기체, 주요 기체, 산소, 공격 성이 순화된 유기 용제	■	
A155	유기 에스테르 기반의 합성 오일	$< 3 \cdot 10^{-3}$ hPa	탄화수소 증기, NH <sub>3</sub> , R134a, 냉각제; 내산화 성, 중합 저항(낮고 가벼운 최적물)		■
F4 F5	특수 어플리케이션용 퍼플루오르 폴리에터	$< 1 \cdot 10^{-3}$ hPa	산소, 오존, 할로겐, 유기 및 무기 용제, HCl, BF <sub>3</sub> , HF	$< 20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 펌프용 $< 20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 펌프용	
A113	퍼플루오르폴리에터 합성유	$< 5 \cdot 10^{-3}$ hPa	산소, 오존, 할로겐, 유기 및 무기 용제, 높은 내부식성 기체, 플라즈마 식각에 적합		■
A119	첨가제 없는 일반 목적 광유, 60Hz 용 다목적 오일	$< 3 \cdot 10^{-3}$ hPa	공기, 비부식성 기체, 주요 기체; 낮은 점도, 저온에서 양호한 시작 속성		■
A121	산화 방지 첨가제가 든 이중 종류 광합성유	$< 3 \cdot 10^{-3}$ hPa	대기압에서 주기적 펌핑, 고온 및 고압용, 산 성 및 유기 증기 저항, 플라즈마 식각에 부 적합		■
A102	항유화제가 든 광유	$< 3 \cdot 10^{-2}$ hPa	오일과 물 분리(항유화), 수증기 건조 및 펌 핑, 냉동 건조		■
A111	첨가제가 든 탄화수소 항유화 광유	$< 1 \cdot 10^{-2}$ hPa	기체 순환 및 기체 회수; 산화 민감(대기압에 서 빈번한 사이클에 부적합)		■
A200	온도 안정적 광합성유	$< 2 \cdot 10^{-3}$ hPa	부식성 기체 및 이온화 플라즈마에 저항, 낮 고 가벼운 역류		■
A300	첨가제 없는 이중 종류 백색 광유	$< 5 \cdot 10^{-3}$ hPa	부식성 기체 및 이온화 플라즈마에 높은 저 항, 할로겐 및 Lewis 산에 저항; 낮고 가벼 운 역류		■

표 4.11: 배압 펌프와 루츠 펌프의 오일 유형

#### 4.2.3.3 작동 유체 선택

작동유체는 펌프 매개체와 접촉하기 때문에 해당 매개체의 영향에 노출됩니다. 결과적으로 작동 유체는 각 어플리케이션에 따라 개별 기준에서 선택되어야 합니다. 파이퍼 베콤은 모든 주요 어플리케이션에 적합한 다양한 유형의 작동 유체를 공급합니다. 펌프는 한 가지 유형의 작동 유체를 사용하도록 공장 출하됩니다. 카탈로그에 지정된 회전 날개 진공 펌프의 최종 압력은 파이퍼 베콤이 권장한 작동 유체를 사용할 때에만 보장을 받을 수 있습니다. 제조업체는 다른 작동 유체의 사용으로 인한 손상에 어떤 책임도 지지 않습니다. 다른 유형의 오일이 혼합되어서는 결코 안 됩니다. 일부 오일은 혼합되지 않으며 펌핑 스테이션에 손상을 초래할 수 있습니다.

#### 4.2.3.4 부속품

##### 먼지 분리기(SAS 또는 DFT)

공정이 먼지를 발생시킬 경우 먼지 분리기가 펌프의 업스트림에 설치되어야 합니다. 왜냐하면 입자들이 점차 마모되어 윤활 회로를 막기 때문입니다. 펌프에 연결 플랜지를 끼워맞출 수 있는 다양한 유형이 있습니다.

##### 응축물 분리기(KAS 또는 CT)

증기를 펌프 다운할 때 응축물이 진공 시스템의 출구 라인에서 형성될 수 있고, 이 응축물은 윤활 속성에 거꾸로 영향을 주거나 부식을 초래할 수 있습니다. 이런 응축물로부터 펌프를 보호하기 위하여 유입구 라인 및 출구 라인 모두에 응축물 분리를 설치할 것을 권장합니다.

**오일 분무 분리기(ONF 또는 OME)**

오일 분무 필터로도 알려져 있는 오일 분무 분리기는 회전 날개 펌프의 출구 포트에 장착되어 있습니다. 이들은 작동 압력에 따라 펌프가 더 크거나 더 작은 양으로 방전하는 오일 분무에 의해 공기가 오염되는 것을 방지합니다. 분리기는 실린더형 필터 요소와 오일 수집 챔버가 있는 플라스틱 또는 알루미늄 하우징으로 구성되어 있습니다.

**오일 회수 시스템(ORF 또는 ODK)**

오일 회수 시스템의 목적은 분무된 펌프 오일을 수집하고 회수하는 것입니다. 이 시스템은 특히 높은 압력 어플리케이션 또는 빈번한 주기적 작동에서 회전 날개 펌프로부터 작동 유체의 높은 방전을 포함하는 모든 어플리케이션을 위하여 사용됩니다. 오일 회수 시스템을 사용하면 작동 비용이 절감되고 특히 불소 및 핵 기술에서 특수 오일이 사용되는 공정 안정성이 향상됩니다. 오일 분무 분리기에 사용되는 오일은 대량으로 수집되어 진공 펌프로 회수됩니다.

**제올라이트 트랩(ZFO 또는 ST)**

제올라이트 트랩은 회전 날개 진공 펌프에서 유입구 측면의 진공 구성품이나 용기로 탄화수소가 역류하는 것을 방지하기 위하여 흡착을 사용합니다. 흡착제는 베이크 아웃으로 재생될 수 있습니다. 재생 간격은 관련 공정에 따라 다를 수 있습니다.

**촉매 트랩(URB)**

촉매 트랩은 1단계 또는 2단계 회전 날개 진공 펌프에서 탄화수소의 역류를 방지합니다. 이것은 CO<sub>2</sub> 및 수증기를 형성하기 위한 250°C의 작동 온도에서 탄화수소의 촉매 소각로를 통하여 수행됩니다. 주기적 환기를 통하여 공정 챔버로 유입되는 산소는 자력 재생에 충분합니다. 이것은 재생 간격이 해당 공정과 무관함을 의미합니다. 유입구 포트 트랩의 직접 설치 및/또는 1단계 회전 날개 펌프의 사용을 위하여 수냉이 요구됩니다.

**활성 탄소 필터(FAK)**

광범위한 화학 물질이 존재할 경우 활성 탄소 필터가 사용됩니다. 활성 탄소 필터엔 증기가 가득한 용체, 산, 알칼리성 용액 뿐만 아니라 황화 수소, 시안화물, 수은, 암모니아, 황산화물, 질소 기체가 포함됩니다. 활성 탄소 필터는 첫 번째 병으로 공급됩니다. 이 병은 교체 가능합니다. 이 병의 사용 수명은 관련 공정에 따라 다릅니다.

**기계적 및 화학적 오일 필터(OFM, OFC 또는 DE)**

화학적 오일 필터는 회전 날개 펌프의 오일 순환 체계에 삽입됩니다. 이 오일 필터는 작동 유체에 닿는 먼지 또는 부유성 고형물을 공정에서 분리합니다. 또한 화학적 오일 필터는 오일로부터 부식성 물질을 흡착합니다. 이것은 펌프의 마모를 줄이고 사용 수명을 연장시킵니다.

**질소 콜드 트랩(KLF 또는 LNT)**

질소 콜드 트랩은 진공 시스템과 회전 날개 펌프 사이에 삽입됩니다. 이것은 공정 기체 흐름에서 응축 가능한 매개체를 얼립니다. 회전 날개 펌프는 이런 방식으로 화학적 또는 용제 공격으로부터 효과적으로 보호될 수 있습니다. 이 트랩은 표준 알루미늄 버전에서 또는 부식 저항 스테인레스강 버전에서 사용 가능합니다. 냉각수의 사용 및 사용 수명은 특별한 어플리케이션에 따라 다릅니다.

극저온 용기를 배울 때 콜드 트랩 역시 작동 유체 증기가 회전 날개 펌프에서 역류하는 것으로부터 진공실을 보호할 수 있습니다.

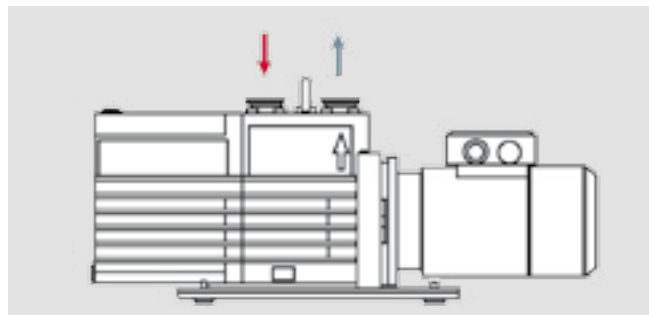
**자동 기체 밸러스트 밸브(AGB)**

자동 기체 밸러스트 밸브는 수동 기체 밸러스트의 전기적 원격 제어 버전입니다. 이것은 기체가 펌프의 높은 압력 단계로 유입되게 해주는 한 개의 전자기 밸브(무전류 시 닫힘)로 구성됩니다. 자동 기체 밸러스트는 중립 기체 소스에 연결될 수 있습니다. 자동 밸브는 빈번하게 사용될 경우 또는 펌프 접근이 제한될 경우에 사용되어야 합니다.

**오일 수준 모니터링(OLS)**

오일 수준 모니터링 장치는 오일 탱크와 투시창 사이의 회전 날개 펌프에 직접 장착됩니다. 많은 수의 펌프가 모니터링되어야 하거나 펌프가 접근이 어려운 작동 환경에서 설치될 경우 오일 수준 모니터링 시스템은 펌프가 편안하게 모니터링되도록 해줍니다.

선택된 유형의 펌프일 경우 회전 날개 펌프의 한 개 이상의 작동 매개변수를 모니터링하는 작동 모니터링 장치를 사용할 수 있습니다. 여기엔 오일 압력, 오일 수준, 작동 유체의 온도, 출구 온도가 포함됩니다.



유입구 측면 부속품	공정 및 모니터링용 부속품	출구 측면 부속품
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 먼지 분리기</li> <li>■ 제올라이트 트랩</li> <li>■ 촉매 트랩</li> <li>■ 응축물 트랩</li> <li>■ 활성 탄소 필터</li> <li>■ 질소 저온 트랩</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 기계적 화학적 오일 필터</li> <li>■ 자동 기체 밸러스트 밸브</li> <li>■ 오일 수준 모니터링, 오일 압력 모니터링, 오일 온도 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 오일 분무 분리기</li> <li>■ 오일 회수 유닛</li> <li>■ 응축물 트랩</li> </ul>

그림 4.4: 회전 날개 펌프용 부속품

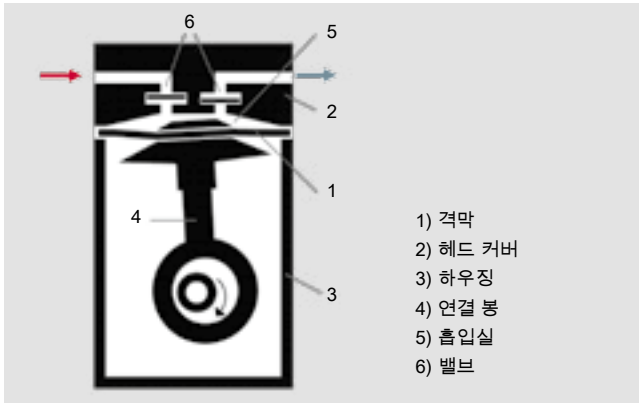


그림 4.5: 격막 진공 펌프의 작동 원리

### 4.3 격막 진공 펌프

#### 4.3.1 설계 / 작동 원리

격막 진공 펌프는 건조 양변위 펌프입니다. 크랭크 샤프트 구동 연결 봉(4)은 헤드 커버(2)와 하우징(3) 사이에 인장되어 있는 격막(1)을 움직입니다. 헤드 커버와 격막 사이의 공간이 흡입실(5)을 형성합니다. 격막 펌프는 목표 기체 변위를 달성하기 위하여 유입 밸브와 배출 밸브(6)를 필요로 합니다. 탄성 중합체 재료로 만들어진 압력 제어 셔터 밸브가 밸브로 사용됩니다. 흡입실이 격막에 의해 구동 시부터 완전 용접 밀봉되어 있기 때문에 펌프 매개체는 오일에 의해 오염될 수도 없고 공격적인 매개체가 기구를 부식시킬 수도 없습니다. 배출 밸브와 흡입실 사이의 불감 부피는 단 하나의 펌핑 스테이지 오는 약 70 hPa의 최종 압력에 도달하는 것만 가능함을 의미하는 제한된 압축비를 낳습니다. 여러 개의 펌핑 단계를 직렬로 연결하면 0.5 hPa의 최종 압력에 도달하는 것이 가능합니다. 더 낮은 압력은 도달할 수가 없습니다. 왜냐하면 이 경우엔 유입 밸브를 열 충분한 힘이 더 이상 없기 때문입니다. 격막 펌프의 원리는 최대 약  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 의 낮은 펌프 속도에 특히 적합합니다.

#### 4.3.2 어플리케이션

탄화수소 없는 흡입실은 격막 펌프가 홀백 단계의 터보분자 펌프에 대한 건조 배압 펌프로써 사용되는 데에 특히 적합하게 해줍니다. 2단계 격막 펌프도 약 5 hPa의 최종 압력에 도달할 수 있습니다. 이것은 홀백 터보 펌프에 대한 배압 펌프에 충분합니다. 깨끗한 진공은 특히 분석적 및 R&D 어플리케이션에 유용합니다. 격막 펌프 역시 기체 밸러스트 없이 수증기를 변위하지 않습니다. 고진공 장비의 벽에서 탁착하는 수증기의 낮은 부피조차도 격막 펌프의 최종 압력이 극적으로 증가하도록 할 수 있습니다. 그러나 일부 격막 펌프는 특허받은 공정에 따라 작동하는 기체 밸러스트 밸브가 장착되어 있습니다. 이런 목적으로 기체가 2단계 격막 펌프의 첫 번째 및 두 번째 단계 사이의 연결 채널로 유입되며, 이것은 작은 구멍을 경유하여 첫 번째 단계의 흡입실과 연결됩니다.

더 큰 부피의 습기가 축적되고 기체 밸러스트 없는 격막 펌프가 사용될 경우엔 펌프에 상당량의 응축물 형성을 방지하기 위하여 적합한 분리기 또는 냉각 트랩이 업스트림에 연결되어야 합니다. 그러나 최종 압력은 그럼에도 불구하고 증가합니다.

#### 4.3.3 포트폴리오 개요

파이퍼 베콤의 격막 펌프는 최종 압력, 펌프 속도 및 부식성 가스의 펌핑 안정성에 따라 다릅니다. 펌프의 펌프 속도는  $3\sim 160 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $0.25\sim 9.6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )입니다. 2단계 펌프에 대한 4 hPa 미만의 최종 압력과 4단계 펌프에 대한 0.5 hPa 미만의 최종 압력은 도달 가능합니다. 이들의 펌프 속도와 도달 가능한 최종 압력은 본선 주파수에 따라 달라집니다.

코팅된 격막과 부식 저항 하우징이 있는 부식성 기체 펌프 모델은 부식성 기체의 펌핑에 사용 가능합니다.

펌프의 지정은  $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ 의 펌프 속도 및 펌핑 단계의 수를 표시하는 방식으로 선택됩니다. 부식성 기체 펌프는 모델 지정 시 끝에 문자 C가 붙습니다.

격막 펌프			
모델	펌프 속도	최종 압력	어플리케이션
MVP 003-2	$0.25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\leq 7.0 \text{ hPa}$	소형 터보 펌프 펌핑 스테이션(HiPace 10 및 HiPace 80 사용 시 이상적), 이동 분석 장비, 미니 테스트 헬름 누출 감지기 재생
MVP 006-4	$0.25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\leq 2.0 \text{ hPa}$	소형 터보 펌프 펌핑 스테이션(HiPace 10 및 HiPace 80 사용 시 이상적), 이동 분석 장비
MVP 015-2	$0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\leq 3.5 \text{ hPa}$	터보 펌프 펌핑 스테이션, 누출 감지기, 연구실, 분석적 화학적 어플리케이션
MVP 015-4	$0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\leq 0.5 \text{ hPa}$	
MVP 030-3	$1.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\leq 2.5 \text{ hPa}$	
MVP 040-2	$2.3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\leq 4.0 \text{ hPa}$	
MVP 070-3	$3.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\leq 1.0 \text{ hPa}$	
MVP 070-3 C	$3.4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\leq 1.5 \text{ hPa}$	탄화수소 없는 진공을 요구하는 부식성 기체 어플리케이션

표 4.12: 격막 펌프 성능 데이터

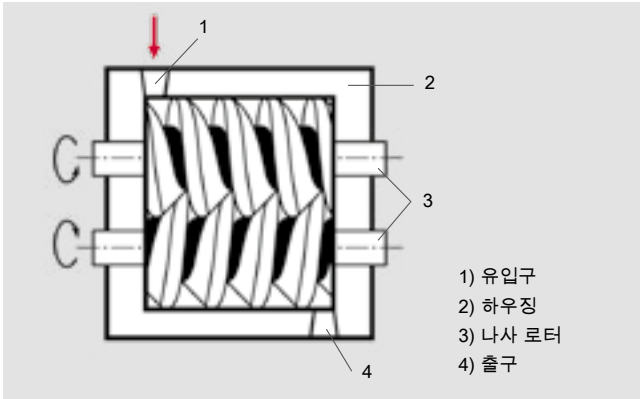


그림 4.6: 나사 펌프의 작동 원리

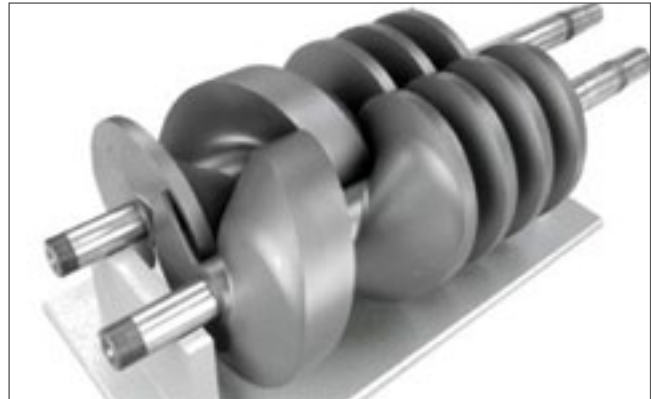


그림 4.7: HeptaDry 로터

#### 4.3.4 부속품

다음 부속품은 격막 펌프에 사용 가능합니다.

- 나사 체결 플랜지 및 플랜지 어댑터
- 퍼지 기체 연결
- 전진공 계전기 박스
- 별 또는 표준 레일 장착을 위한 전원 팩
- 터보 펌프 구동에 연결하기 위한 케이블

## 4.4 나사 진공 펌프

### 4.4.1 설계 / 작동 원리

동시에 접촉없이 반대편에 나사가 있는 두 개의 평행 베어링 지지 맞물림 나사 로터(3)는 그것들을 단단히 에워싸는 실린더형 하우징(2)에서 반대로 회전하고, 함께 다중 단계 펌프를 형성합니다. 두 로터의 대응부 메시 때문에 각 나사에서 밀려진 부피가 출구(4)의 로터를 따라 이동합니다. 펌프는 유입구(1)나 출구에 밸브가 없습니다. 변위 부피가 출구 구멍에도 말할 때 압력은 대기와 같아집니다. 이것은 대기의 공기가 변위 부피로 둘러 들어가 로터가 돌 때 다시 변위됨을 의미합니다. 이 필싱 기체 흐름은 높은 수준의 방전 에너지를 생성하고 펌프를 가열합니다. 이 소멸된 에너지는 내부의 압축에 의하여 감소될 수 있습니다. 내부 압축은 출구 방향으로 나사 피치를 줄임으로써 이루어집니다. 서로 상대적인 로터 사이 뿐만 아니라 하우징과 로터 사이의 틈새가 나사 펌프가 도달할 수 있는 최종 압력을 결정합니다. 로터가 서로 물려 있을 때 일어나는 기하학과 틈새 구성은 최종 압력에 커다란 영향을 미칩니다.

필싱 기체 흐름에 의해 생성된 소멸 에너지가 출구 측면에서 펌프를 가열하기 때문에 정확히 이 위치에 냉각이 필요합니다. 하우징과 로터 사이의 틈새는 더 따뜻한 로터와 냉각된 하우징 사이의 온도 차이와 관계가 있습니다. 만들어진 열의 양과 온도는 유입구 압력 범위와 관계가 있습니다. 온도는 높은 유입구 압력(거의 대기압)에서 가장 낮습니다. 왜냐하면

실제로 어떤 압축 작업도 여기서 수행되지 않고 변위된 공기가 펌프에서 충분한 열을 전달하기 때문입니다. 또한 높은 기체 흐름 역시 최종 단계에서 기체의 진동을 방지합니다. 최종 압력( $p < 1 \text{ hPa}$ )에서 작동 시 대기 공기의 진동은 출구 영역에서 더 높은 온도를 만들어냅니다. 왜냐하면 어떤 공기도 펌프를 통과하여 지나가지 않고 따라서 어떤 열도 펌프에서 전달되고 있지 않기 때문입니다.

HeptaDry 펌프는 내부 압축이 있는 건조 나사 펌프입니다. 나사 로터는 다양한 피치와 대칭적인 기하학을 갖습니다. 이 펌프는 제어 구멍이 있는 단판이 없습니다. 그 대신 기체가 대기압에 반하여 축 방향으로 방전됩니다. 내부 압축 때문에 평싱 기체의 부피가 낮습니다.

이것은 더 낮은 전력 소비, 조용한 작동, 펌프 내의 균일한 온도 분배, 낮은 냉각수 소비를 이끕니다. 이로써 이 펌프는 견고한 설계에도 불구하고 매우 비용 효율적입니다.

### 4.4.2 어플리케이션

최근 몇 년 동안 다음 섹션에서 설명되는 수냉 나사 펌프와 다단계 루츠 펌프가 이전에 높은 펌프 속도 부문( $100\text{--}600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )에서 우세했던 오일 윤활 회전 날개 펌프를 점점 더 대체하고 있습니다.

나사 펌프의 이점은 다음과 같습니다.

- 기체 변위 영역에서 윤활 없음
- 펌프 매개체의 오염 없음
- 작동 유체 처리 문제 없음
- 내부 압축으로 인한 더 높은 효율성
- 1~1,000 hPa의 현실적으로 일정한 펌프 속도
- 양호한 액체 및 먼지 허용치
- 루츠 펌프에 대한 이상적인 배압 펌프

이것은 HeptaDry 나사 펌프가 먼지를 만들어내는 화학적 어플리케이션 또는 공정(예: 결정체 성장 또는 상당한 응축물 부피가 만들어지는 경우)에 무척 적합하게 만들어줍니다.

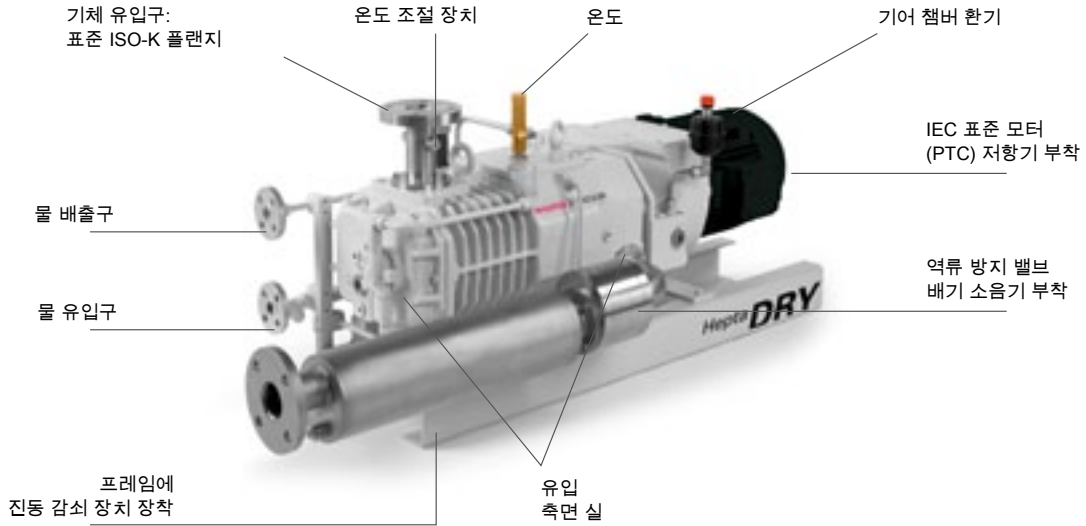


그림 4.8: HeptaDry의 연결 및 부속품

온도 조절 냉각 시 물 흐름 부피는 유입구 압력, 기체 유형, 회전 속도 및 펌프 크기와 같은 매개변수에 따라 달라집니다. 물 흐름 냉각으로 인해 실제로 어떤 열도 대기로 발산되지 않습니다. 이것은 모든 기존 공기 조절 체계에서 열 부하를 감소시키고 에너지 소모를 줄입니다.

주요 나사 펌프 어플리케이션의 개요

- 건조, 냉동 건조
- 전자 빔 용접
- 금속 공학
- 코팅
- 부하 락
- 화학적 어플리케이션

**4.4.3 포트폴리오 개요**

HeptaDry 펌프는 높은 체적 유량율이 요구되는 저진공 및 중간 진공 범위의 어플리케이션을 위한 건조 나사 펌프입니다. 이 제품 라인의 펌프 속도 범위는 100~600 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>입니다. 0.1 hPa 이하의 최종 압력에 도달합니다. 이들의 펌프 속도와 도달 가능한 최종 압력은 본선 주파수에 따라 달라집니다.

해당 모델과 상관없이 HeptaDry 펌프는 특별한 작동 범위에서 연속으로 작동될 수 있습니다. 이들의 효과적인 펌프 속도는 펌프 속의 개별 밀봉 부피 사이의 더 강력한 배압 때문에 p < 1 hPa 압력으로 감소합니다. 높은 압력에 대한 펌프 속도의 감소에 대해서는 합당한 이유가 있습니다. 이 경우 기체가 내부 압축을 통하여 대기압 이상의 압력으로 압축되고 그 결과 높은 차압으로 인해 역류가 크게 증가하기 때문입니다.

펌프에 달려 오는 표준 장비에는 유입구 체, 온도 조절 밸브와 온도계가 달린 물 흐름 냉각, 역류 방지 밸브가 달린 소음기, 진동 댐퍼가 달린 프레임 장착 설계가 포함됩니다. 펌프는 50~60Hz(3,000 또는 3,600 rpm)에 적합한 3상 온도 모니터링 비동시 모터로 구동됩니다.

**4.4.4 부속품**

먼지 분리기(SAS)는 나사 펌프의 부속품으로 사용 가능합니다. 펌프에 연결 플랜지를 끼워맞출 수 있는 다양한 유형이 있습니다. D1 유형 다이에스테르 오일이 작동 유체로 사용됩니다.

HeptaDry 시리즈				
모델	50Hz에서의 펌프 속도	60Hz에서의 펌프 속도	50Hz에서의 최종 압력	60Hz에서의 최종 압력
Hepta 100 P	110 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	130 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	< 5 · 10 <sup>-2</sup> hPa	< 1 · 10 <sup>-2</sup> hPa
Hepta 200 P	220 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	265 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	< 5 · 10 <sup>-2</sup> hPa	< 1 · 10 <sup>-2</sup> hPa
Hepta 300 P	320 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	410 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	< 5 · 10 <sup>-2</sup> hPa	< 1 · 10 <sup>-2</sup> hPa
Hepta 400 P	350 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	420 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	< 5 · 10 <sup>-2</sup> hPa	< 1 · 10 <sup>-2</sup> hPa
Hepta 600 P	525 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	630 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	< 5 · 10 <sup>-2</sup> hPa	< 1 · 10 <sup>-2</sup> hPa

표 4.13: HeptaDry 성능 데이터

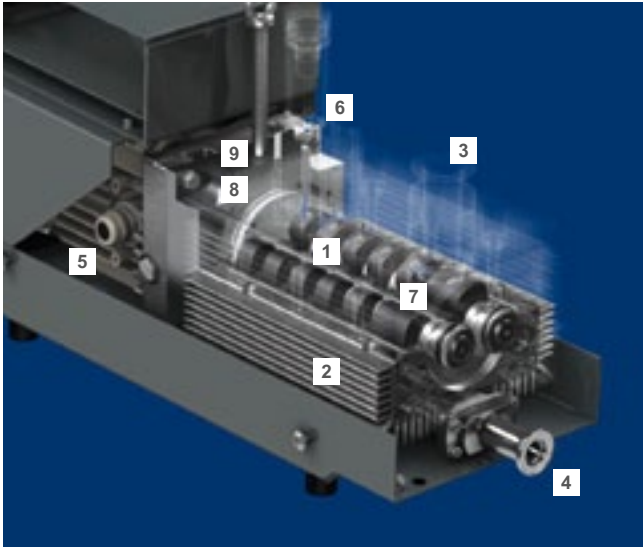


그림 4.9: 공랭식 다단계 루츠 펌프의 작동 원리

## 4.5 다단계 루츠 펌프 – 진공 생성

### 4.5.1 설계 / 작동 원리

1단계 및 다단계 루츠 펌프는 건식 회전 변위 진공 펌프의 범주에 속합니다. 이 펌프는 또 루츠 펌프 또는 루츠 송풍기로도 불립니다. 이 장에서 설명되는 다단계 루츠 펌프는 ACP 범위(adixen 청정 펌프)에 속합니다.

펌프에서 두 개의 동기 역회전 로터(1)는 단일 하우징에서 비접촉 회전합니다(그림 4.9). 로터는 8자형 구성이고, 좁은 간격으로 서로 분리되어 있습니다. 로터의 4~6개 부품이 로터 샤프트에 위치해 있습니다. 각각의 로터 공동은 기체 구멍이 있는 고정자 디스크에 의해 서로 분리되어 있습니다. 전달된 기체는 유입구(3)에서 출구(4)로 펌프됩니다.

한 개의 샤프트가 모터(5)에 의해 구동됩니다. 나머지 샤프트는 기어 박스 안에 있는 타이밍 기어(6)에 의해 동기화됩니다. 윤활은 기어 박스로 제한되고 낮은 압력과 높은 압력 베어링(9)으로 압축됩니다. 이 베어링은 샤프트 실(8)에 의해 흡입실(7)에서 밀봉됩니다.

흡입실에서는 마찰이 일어나지 않기 때문에 루츠 진공 펌프는 최대 6,000 rpm의 높은 회전 속도로 작동될 수 있습니다. 샤프트 축 주변에 로터 질량의 대칭 분배는 완벽한 동적 균형을 낳으며, 이는 펌프가 자체의 높은 속도에도 불구하고 매우 조용히 작동됨을 의미합니다.

### 4.5.2 어플리케이션

ACP 범위에서 건조 공랭식 다단계 루츠 펌프는 종종 설계 및 성능 매개변수 덕에 사용 가능한 펌프 속도 범위에서 오일 윤활 회전 날개 펌프에 대한 직접적인 교체로 사용될 수 있습니다.

다단계 루츠 펌프의 이점은 다음과 같습니다.

- 기체 변위 영역에서 윤활 없음
- 오일 또는 입자로 펌프된 매개체의 오염 없음
- 작동 유체 처리 문제 없음
- 장기 안정성을 가진 일정한 진공 매개변수
- 최소한의 마모 부품 수로 인한 높은 신뢰성
- 1상 또는 3상 주파수 변환기를 사용함으로써 전원 공급 시마다 일정한 작동 매개변수, 본선 주파수, 범용 본선 전원 연결
- 공기 냉각, 수냉식 설치 비용 및 작동 비용 없음
- 높은 유입구 압력에 반하여 연속 작동 가능
- 서비스 간격이 길어 작동 비용이 낮음
- 주파수 변환기로 원격 제어 옵션
- 조정 가능한 rpm, 감소된 잡음 수준, 에너지 사용 및 전원 입력으로 인해 어플리케이션에 대한 이상적인 적응
- 최소 누출률
- 터보 펌프 및 루츠 펌프에 대한 이상적인 배압 펌프
- UL/CSA 및 SEMI S2에 인증

### 증기

추가 축정이 없으면 비교적 낮은 작동 온도로 인해 무유 오일 펌프가 있는 펌프 내부에 응축의 위험이 있습니다. 회전 날개 펌프와 마찬가지로 다단계 루츠 펌프엔 펌프의 수증기 허용치와 수증기 용량을 증가시키기 위하여 기체 밸러스트 펌프가 장착되어 있습니다. 펌프 내부의 응축물 형성은 최종 압력을 높이고, 이는 부식을 또 최악의 경우엔 펌프의 전체 고장을 유발합니다.

ACP 펌프는 기체 밸러스트 없이 최대 5%의 습기 함량을 가진 매개체를 전달할 수 있습니다. 표준 펌프 기체 밸러스트가 있으면 수증기 허용치는 10 hPa, 수증기 용량은  $100 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$ 입니다. 특수 펌프 버전의 기체 밸러스트 처리량(CV, 응축 가능 증기)이 증가하면 주변 온도에 따라 약 100 hPa의 수증기 허용치와  $700 \sim 1,000 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$ 의 수증기 용량에 도달할 수 있습니다.

회전 날개 펌프에 대해서는, 증기를 배출하기 전에 펌프는 기체 밸러스트로 최소 30분 동안 가열했음이 분명합니다. 펌프 블록의 더 높은 온도는 응축을 감소시킵니다. 응축을 감소시키는 추가 축정에는 가능한 최저 출구 압력의 도달과 응축물의 분리 제거가 포함됩니다. 출구의 배압은 수직 배기가스 라인으로 방지되어야 합니다. 추출 시스템이 사용 가능할 경우 출구는 추출 시스템에 연결되어야 합니다.

### 먼지와 입자

ACP 시리즈의 다단계 루츠 펌프는 최악의 경우 차단되어 커다란 입자가 제어되지 않고 근린 폐해를 주는 결과가 되어 완전히 실패할 수 있습니다. 이런 이유 때문에 먼지를 내뿜는 공정(예: 파손으로부터 보호하기 위한 유리 제조)에서 유입구 측면에 필터가 장착됩니다.

### 부식성 기체

ACP 시리즈 펌프는 대량의 부식성 기체의 펌프 다운에 적합하지 않습니다. 다단계 루츠 펌프는 반도체, 태양열, 코팅 산업의 부식성 기체 처리에 사용 가능합니다(4.6장 참조). 그러나 ACP 시리즈 펌프는 최소한 부식성 기체의 추적을 다루는 데에 사용될 수 있습니다. 이 경우에 불활성 기체 커튼으로 베어링이 보호되고 불활성 기체 퍼지가 있는 버전이 사용되고, 공정 기체는 펌프 단계 중 하나에 불활성 기체를 도입함으로써 희석됩니다.

**누출률**

이런 펌프의 높은 기밀은 다단계 루츠 펌프를 장기간 사용 가능한 완벽한 솔루션 겸 비싼 기체(<sup>4</sup>He, <sup>3</sup>He, 동위원소 표시 기체)를 가진 기체 회로로 만듭니다.

**가벼운 기체와 고진공**

다단계 루츠 펌프엔 습기와 산소가 흡입실로 역 확산되는 것을 방지하기 위한 배출 밸브가 있습니다. 이때 흡입실은 부식성 기체 어플리케이션을 사용하여 펌프에서 화학적 반응이 일어나게 합니다. 이 밸브는 가벼운 기체가 수집되어 역 확산되는 것을 방지하기 위하여 진공이 생성되기를 요구하는 어플리케이션에서 주기적으로(예: 기체 밸러스트를 통하여) 열려야 합니다.

배기 시 또는 기체 밸러스트 사용 시엔 약한 진공조차도 증발저온 유지 장치에서처럼 질소 또는 공기와 동일한 성능 데이터를 가진 헬륨의 연속 기체 처리량을 변위시키기에 충분합니다.

운반 기체의 사용이 금지된(폐쇄형 루프 어플리케이션에서처럼) 어플리케이션에서는 펌프 출구에 진공이 있어야 합니다.

**4.5.3 ACP 포트폴리오 개요**

ACP는 저진공 및 중간 진공 범위의 어플리케이션에 대한 공랭식 건조 다단계 루츠 펌프입니다. 이 제품의 펌프 속도 범위는 14~37 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>입니다. 0.1 hPa 이하의 최종 압력에 도달합니다. 이들의 펌프 속도와 도달 가능한 최종 압력은 주파수 변환기에 의해 선택된 회전 속도에 따라 다릅니다.

해당 모델과 상관없이 ACP 펌프는 어떤 압력의 특별한 작동 범위에서 연속으로 작동될 수 있습니다.

ACP 펌프는 다르게 구성될 수 있고 기체 밸러스트를 추가하거나 펌프의 다른 장소에 기체를 밀봉함으로써 광범위한 어플리케이션에 최적화될 수 있습니다.

**4.5.3.1 공랭식 다단계 루츠 펌프**

Table 4.14에 나와 있는 버전은 3상 또는 1상 본선 전원을 연결을 공급 받을 수 있습니다. 본선 전압 및 주파수와 상관 없이 모든 펌프엔 주파수 변환기가 장착되어 있습니다.

**4.5.3.2 부속품**

**입자 필터(IPF)**

공정 관련 먼지와 입자가 존재할 경우, 펌프엔 펌프가 차단되는 것을 방지하기 위하여 업스트림 입자 필터가 장착되어야 합니다. 펌프에 연결 플랜지를 끼워맞출 수 있는 다양한 유형이 있습니다. 효과적인 필터 메시는 25 μm입니다. 다른 필터 유형과 메시 크기는 요구 시 사용 가능합니다.

공랭식 다단계 루츠 펌프 구성

모델	표준 버전			부식성 기체에 대한 "G" 버전	응축 가능한 매개체에 대한 "CV" 버전	
	기체 밸러스트 없음	수동 기체 밸러스트 밸브	유입구 필터가 있는 영구 기체 밸러스트		수동 기체 밸러스트 밸브	유입구 필터가 있는 영구 기체 밸러스트
ACP 15	■	■	■	■		
ACP 28	■	■	■	■	■	■
ACP 40	■	■	■	■	■	■

표 4.14: 공랭식 다단계 루츠 펌프의 가능한 구성

공랭식 다단계 루츠 펌프

모델	펌프 속도	기체 밸러스트 있는/없는지* 최종 압력	어플리케이션
ACP 15	14 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-2</sup> hPa	비부식성 기체, 아르곤, 터보 펌프용 배압 펌프
ACP 28	27 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-2</sup> hPa	
ACP 40	37 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-2</sup> hPa	
ACP 15	14 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-1</sup> hPa*	습도가 > 5%인 표준 어플리케이션 또는 챔버 벽에서의 흡착, 극저온 펌프의 재생
ACP 28	27 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-1</sup> hPa*	
ACP 40	37 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-1</sup> hPa*	
ACP 15 G	14 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-1</sup> hPa*	부하 락 및 이송 챔버, 가벼운 기체의 발생율이 높은 터보 펌프용 배압 펌프, 부식성 기체 밀도가 낮은 공정 기체, 입자 가득한 공정 기체, 산소 및 산화 매개체
ACP 28 G	27 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-1</sup> hPa*	
ACP 40 G	37 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-1</sup> hPa*	
ACP 28 CV	27 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-1</sup> hPa*	건조, 증류, 증발하는 유체를 사용한 어플리케이션
ACP 40 CV	37 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-1</sup> hPa*	

표 4.15: 공랭식 다단계 루츠 펌프 성능 데이터



### 소음기(ES)

출구 측면의 소음기 ES 25S는 특히 대기압과 가까운 높은 작동 압력에서 펌프의 잡음 수준을 줄여줍니다. 이것은 최종 압력과 근사한 펌프의 잡음 수준에 어떤 영향도 미치지 않습니다.

### 소리 보호 후드(NRC 및 SEK)

소리 보호 후드는 심지어 최종 압력과 근사한 작동 압력에서 ACP 펌프의 음압 수준을 줄여줍니다. NRC 유형 후드는 음압을 약 5~6dB(A)로 줄이고 최대 주변 온도를 35°C로 제한합니다. SEK 유형 후드는 음압을 약 10dB(A)로 줄이고 최대 주변 온도를 30°C로 제한합니다.

## 4.6 다단계 루츠 펌프 - 진공 생성

반도체 산업에서는 마이크로 전자공학 구성품들이 단일 결정의 평면 위에 구축됩니다. 생산 공정에서 특수한 전자적 속성을 가진 층들(절연체, 컨덕터 및 특정한 전도 속성을 가진 층들)이 서로의 상단에 부착됩니다. 인접한 층들의 서로 다른 속성으로 인해 트랜지스터, 커패시터 콘덴서, 저항기와 같은 전자 구성품들이 만들어집니다.

통합된 회로를 생산하는 동안 반도체 기초 재료의 도핑, 층들의 구축, 구조화, 분석과 같은 많은 다른 공정에서 진공 기술이 사용됩니다. 생산은 청정실에서 일어납니다. 진공 펌프는 클린룸의 생산 기계에서 직접 아니면 청정실 바로 밑에 있는 별도의 펌프 바닥(지하층)에서 사용됩니다.

이 공정들은 사용되는 펌프에 대해 요구사항이 서로 다릅니다. 부식, 독성 또는 응축 가능한 매개체가 없는 공정은 부식성 기체를 다루기 위해 특별히 장착되지 않은 펌프로 작동될 수 있습니다. 이 공정에는 다음이 포함됩니다.

- 부하 락 및 이송 챔버
- 반응성 기체 대기 없는 금속의 물리적 증착법(PVD)
- 주입기(Beam Line 및 End Station)
- 진공 또는 불활성 기체 대기 상태에서의 담금질(결정체 결합 베이킹 아웃)
- 웨이퍼 검사

사용되는 펌프(L 시리즈)는 4.6.3장에서 설명됩니다. 청정실에서 펌프를 직접 사용한다는 것은 펌프 바닥의 전진공 라인과 요구되는 모든 가열이 필요 없을 뿐만 아니라 전도성 손실이 줄어들 수 있고 높은 공정 안정성을 가진 재생 가능 설치가 실현될 수 있음을 의미합니다.

중형 어플리케이션은 응축 경향을 가진 부식성 화학 물질을 수반할 수는 있지만 입자를 재생하지는 않습니다. 이 유형의 어플리케이션에는 다음과 같은 서로 다른 공정이 포함됩니다.

- 산화, 회분화
- RTP(신속한 열 처리, 높은 등급의 할로겐 조영 고온 공정에서 웨이퍼 처리)
- 다결정 실리콘, 알루미늄 또는 텅스텐의 건조 식각
- 주입기(소스)
- 특정한 CVD 공정

사용되는 펌프(P 시리즈)는 4.6.4장에서 설명됩니다. 안전 이유 때문에 그리고 폐기체 정화 시스템에 가깝기 때문에 공정 펌프가 종종 지하층에 설치됩니다.

가장 많이 요구되는 공정(거친 공정, H-시리즈 펌프)으로 인해 입자, 매우 부식성 높은 화학 물질이나 반응 부산물 또는 응축 경향이 있는 화학 물질이나 반응 부산물을 처리하는 것이 필요합니다. 이런 공정의 예는 다음과 같습니다.

- 질화 티타늄의 MOCVD(유기 금속 화학 증착)
- 유전체의 등방성 건조 식각
- 실리콘 2산화물의 HDP CVD(고밀도 플라즈마 화학 증착)
- 실리콘 2산화물의 SACVD(준상압 화학 증착)
- 실리콘 2산화물의 SACVD HARP(준상압 화학 증착, 고중 황비 공정)

터보분자 펌프(4.9.3.2장 참조)와 건식 공정 펌프의 결합은 때로 이 공정에서도 사용됩니다.

전에 언급한 P 및 H 펌프의 공정은 예를 들어 다음과 같은 성질을 가진 화학 물질을 사용합니다.

- 아르신(AsH<sub>3</sub>) 또는 포스핀(PH<sub>3</sub>)과 같은 높은 독성
- 플라즈마 활성 삼불화 질소(NF<sub>3</sub>), 육불화 황(SF<sub>6</sub>), 불화탄소 등과 같은 높은 부식성
- 플라즈마 활성 산소 또는 오존과 같은 높은 산화 속성
- 테트라 에틸 실리케이트(TEOS), 트리실리라민(TSA) 같은 금속 유기 화학 물질

진공 기술과 진공 공정 기술에 대한 확장된 지식은 장기적 안정성 및 최소 소유 비용이 드는 실행 가능한 솔루션을 정의하는 데에 필요합니다. 여기에는 예를 들면 너무 낮은 온도, 너무 높은 온도에서의 분말 형성 또는 화학 물질이 펌프 바닥에 너무 오랫동안 남아 있을 경우 펌프의 폐색으로 인한 응축을 방지하기 위하여 펌프 작동 온도를 정의하는 것이 포함됩니다. 게다가 온도 패턴의 정밀한 제어가 펌프 자체에 뿐만 아니라 생산 공장, 전진공 라인, 배기가스 라인에도 종종 필요합니다.

태양열 산업과 디스플레이 제조에서의 진공 공정은 반도체 산업에서 사용되는 공정과 종종 유사합니다. 하지만 이 산업 부문에서는 코팅되어야 할 표면이 더 크기 때문에 기체 처리량이 더 크고 따라서 높은 펌프 속도를 가진 펌프를 요구합니다.

예를 들어 태양열 산업에서는 표면에 보호막을 씌우는 반사 방지 층과 질화 규소 층이 태양광을 더 잘 받아들이기 위한 플라즈마 CVD 공정에서 태양 전지에 적용됩니다. 이것들은 원하는 대로 기질 위에 뿐만 아니라 진공실의 벽에도 퇴적됩니다. 공정 챔버는 벽에 축적된 층들이 더 이상 제어된 진공 공정을 허락하지 않는 최후의 순간에 청소되어야 합니다. 이것은 강력한 산화제  $NF_3$ 와 함께 현장 플라즈마 세정으로 행해집니다. 펌프(이 경우엔 AD 73 KH, 4.6.5장 참조)가 너무 낮은 온도에서 작동될 경우엔 Figure 4.10에 나와 있는 것처럼 반응 생성물 암모늄 헥사 플루오르가 펌핑 스테이션에 퇴적됩니다. 이상적인 공정 제어에는 공정 호환 가능 펌프와 공정 매개변수의 확실히 믿을 수 있고 자격이 있는 세트 뿐만 아니라 다음이 포함됩니다.

- 그곳에 응축물이 생기는 것을 방지하기 위한 가열된 전진공 라인
- 수직 전진공 라인의 경우 물체가 펌프 속으로 떨어지는 것을 방지하기 위한 보호 장치(예: 수직으로 더 낮은 말단에 끝 마개가 있고 펌프에 수평 출력이 있는 T-조각)
- 입자가 날리는 것을 방지하기 위한 소프트 스타트 밸브
- 전진공 라인에서 정비 작업 시에도 고온에서 펌프의 연속 작동을 위한 펌프 유입구의 차단 밸브
- 가능한 한 배압 펌프 근처의 전진공 라인에 누출 감지기 연결. 누출은 실리콘 2산화물 입자의 형성을 이끕니다.
- 펌프와 배기가스 청소 시스템 사이의 가열된 배기가스 라인
- 배기가스 청소 시스템

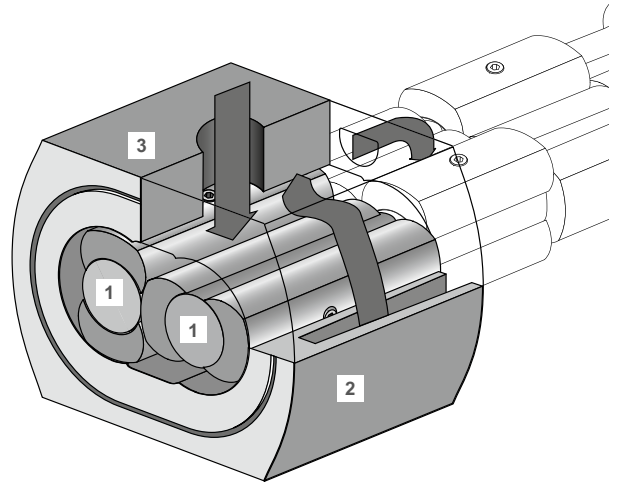


그림 4.11: 다단계 루츠 펌프의 작동 원리  
공정 펌프

4.6.1 설계 / 작동 원리

전 섹션에서 설명된 펌프와 마찬가지로 이 장에서 설명되는 루츠 진공 펌프는 기술적으로 건식 회전 변위 진공 펌프의 카테고리 속에 있습니다. 이 섹션에서는 부식성 공정을 위한 펌프와 부하 락 및 이송 챔버를 위한 펌프에서 파생된 펌프를 다룹니다.

펌프에서는 두 개의 동기 역회전 로터(1)가 단일 하우징(2)에서 비접촉 회전합니다(Figure 4.11 참조). 로터는 8자형 구성이고, 좁은 간격으로 서로 분리되어 있습니다. 로터의 4~6개 부품이 로터 샤프트에 위치해 있습니다. 각각의 로터 공동은 기체 구멍이 있는 고정자 디스크에 의해 서로 분리되어 있습니다. 전달된 기체는 유입구에서 출구로 펌프됩니다. 수직 펌프 방향은 공정 펌프에서 항상 중요합니다. 배출구 채널의 여러 스테이지 사이의 공간은 결과적으로 입자 트랩으로 사용될 수 있습니다. 이것이 펌프의 폐색을 피하는 최선의 방법입니다.

흡입실에서는 마찰이 일어나지 않기 때문에 루츠 진공 펌프는 최대 6,000 rpm의 높은 회전 속도로 작동될 수 있습니다. 샤프트 축 주변에 로터 질량의 대칭 분배는 완벽한 동적 균형을 낳으며, 이는 펌프가 자체의 높은 속도에도 불구하고 매우 조용히 작동됨을 의미합니다.

펌프와 소음기에서 화학 물질의 응축을 피하기 위하여 화학 물질은 냉각수 흐름을 조절함으로써 달궈질 수 있고 아니면 가열 슬리브로 전기적으로 가열될 수 있습니다. 출구 소음기가 분리 배열될 경우엔 추가 가열 슬리브가 필요합니다. 출구 소음기를 직접 펌프 블록에 통합하는 것은 추가 히터를 필요로 하지 않으므로써 에너지 비용을 줄일 뿐만 아니라 설치를 더 수월하게 해줍니다.



그림 4.10: 무척 낮은 온도에서 작동되는 루츠 펌프의 암모늄 헥사 플루오르  $(NH_4)_2SiF_6$ 의 응축

#### 4.6.2 어플리케이션

부식성 기체 버전에서 다단계 루츠 펌프의 이점에는 다음이 포함됩니다.

- 온도, 퍼지 기체 처리량, 회전 속도를 조정함으로써 관련된 진공 공정으로 이상적인 조정
- 기체 변위 영역에서 운할 없음
- 작동 유체 처리 문제 없음
- 높은 신뢰성과 시스템 가동 시간
- 긴 서비스 간격, 낮은 전력 소모, 냉각수 및 플래싱 기체의 중간 소모, 결과적으로 낮은 소유 비용
- 청정실과 펌프 수준에서 통합과 절감이 양호한 작은 설치 면적
- 광범위한 제어 옵션, 국부 또는 원격 제어, 모니터링 네트워크의 통합
- 최소 누출률
- 부식성 공정에서 터보 펌프 및 루츠 펌프에 대한 이상적인 배압 펌프
- UL/CSA 및 SEMI S2에 인증

#### 먼지와 입자

공정 펌프는 입자에 노출되고 공정 챔버 및 고진공 라인으로 부터 펌프에 전달됩니다. 또한 펌프 자체에서 반응 부산물의 응축으로부터 비롯될 수 있는 입자와 퇴적물도 허용되어야 합니다. 이상적으로는 조정 가능한 가열 및 제어된 온도 패턴을 사용하면 입자와 퇴적물의 형성을 피하는 것이 가능합니다. 수직 방향으로 펌핑하면 모든 입자는 펌프 단계에서 떨어져 나와 다음 단계까지 배출구 채널에 남아 있습니다. 다음 환기 및 후속 펌프 다운 후에 입자는 뒤따르는 다음 단계로 변위된 기체에 의하여 방전됩니다. 이 방전 메커니즘은 유입구에서 출구까지 생성된 입자의 98% 이상을 배출합니다. 이것은 공정 화학 물질 뿐만 아니라 입자까지도 포획하고 처리하는 중앙 배기가스 청소 시스템이 펌프 출구에서 제공될 수 있음을 의미합니다. 유입 측면의 높은 정비 트랩과 필터는 부식성, 독성, 응축 가능 매개체에 대한 진공 솔루션에서는 가능하면 언제나 피할 수 있습니다.

#### 부식성 기체

P 및 H 시리즈의 다단계 루츠 펌프는 반도체, 태양열, 평면 스크린 코팅 산업의 부식성 기체 공정을 위하여 특별히 설계되었습니다. 펌프의 탄성 중합체 재료 뿐만 아니라 금속 로터와 회전자도 높은 부식 저항 재료로 만들어졌습니다.

#### 누출률

높은 기밀, 주변 공기 또는 배기가스 청소 시스템에서 확산되는 기체 또는 역류 방지 밸브를 통한 문질러 떨어짐으로부터 보호 기능이 있기 때문에 다단계 루츠 펌프는 부식성 기체 어플리케이션에 대한 완벽한 솔루션이 됩니다. 밀봉된 모터 역시 누출 방지 개념의 일부입니다.

#### 4.6.3 부하 락과 비부식성 기체

ACP 120은 수냉식 다단계 루츠 펌프의 초보 수준 모델입니다. ACP 시리즈 펌프는 대량의 부식성 기체의 펌프 다운에 적합하지 않습니다. 그러나 ACP 시리즈 펌프는 최소한 부식성 기체의 추적을 다루는 데에 사용될 수 있습니다. 이 경우에 불활성 기체 커튼으로 베어링이 보호되는 곳에 불활성 기체 퍼지가 사용되고, 공정 기체는 펌프 단계에 불활성 기체를 도입함으로써 희석됩니다.

ACP 120은 독립형 펌프로 작동되거나 이상적인 산업용 솔루션이면서 반도체 산업용 부식성 기체 버전의 설계로부터 장점을 따온 ACG 600 펌핑 스테이션으로써 루츠 펌프와 결합하여 작동될 수 있습니다. ACP/ACG 펌프는 그들의 마찰 없는 설계를 통한 세정 공정에 이상적으로 적합합니다. 이들은 탁월한 장기적 안정성과 긴 정비 간격을 달성합니다.



그림 4.12: ACP 120

반도체 산업용 락 펌프는 지정 시 "부하 락"을 나타내는 "L"이 있습니다. 위에서 설명된 ACP 120과는 대조적으로 한 개의 하우징과 한 개의 제어기가 장착되어 있습니다. 주파수 변환기는 본선 전압과 주파수에 상관 없이 전세계적으로 재생 가능한 성능 매개변수를 보장합니다.

L-시리즈 펌프는 작동 시간 카운터, 상태 표시등이 장착되어 있어서 국부 및 원격 제어 모드에서 작동될 수 있습니다.

유입구 및 출구 플랜지는 반도체 생산 기계의 제어 유닛에 스스로를 연결하게 해주는 입력-출력 인터페이스 뿐만 아니라 펌프 후면에 장착되어 있습니다. 직렬 인터페이스는 예를 들어 펌프가 모니터링 네트워크에 연결될 수 있게 하기 위하여 선택적으로 이용 가능합니다. 수냉 연결 및 선택적인 에너지 절약 옵션 역시 펌프 후면에 위치해 있습니다(Figure 4.13 참조).

펌프 하우징에 통합된 선택적인 에너지 절감 옵션(에너지 절약, ES)은 펌프 전력 소모를 최대 50% 줄여줍니다. 그 결과 운영자의 소유 비용이 상당히 줄어듭니다. 에너지 절약 이외에도 A 100 L ES는  $7 \cdot 10^{-4}$  hPa의 최종 압력에 도달할 수 있습니다. 잡음 수준 역시 3dB(A) 감소합니다.

펌프 표면을 깨끗하게 유지함으로써 유닛은 적층될 수 있어서 반도체 제작 청정실 또는 지하실에서 차지하는 공간을 최소화할 수 있습니다. 최소 설치 면적, 적층 가능성, 대기압에서의 높은 펌프 속도, 에너지 절약 옵션, 낮은 최종 압력과 높은 신뢰성과 장기적 안정성의 결합으로 인하여 L 시리즈는 모든 부하 락 공정에 대한 이상적인 솔루션입니다.

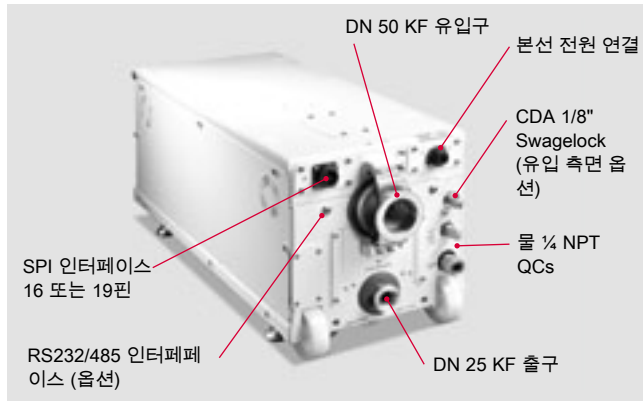


그림 4.13: A 100 L 후면 연결

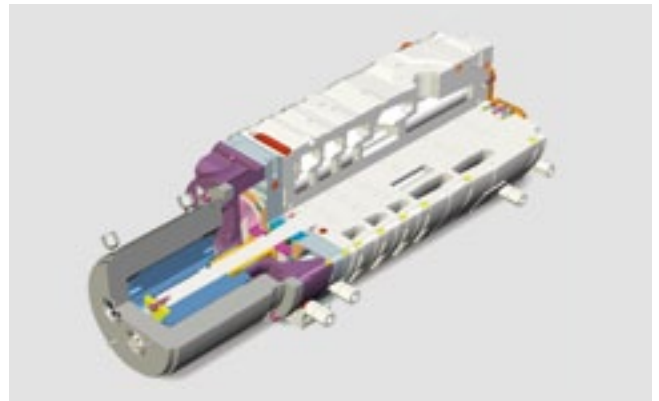


그림 4.14: A 203 H 횡단면

낮은 최종 압력과 줄어든 잡음 수준이 L 시리즈를 매력적인 분석, 연구, 개발 어플리케이션으로 만듭니다.

#### 4.6.4 공정 화학

코팅 공정에서 특히 이 장의 도입부에서 제시된 것처럼 반도체와 평면 스크린의 생산에서 그리고 태양열 산업에서, 진공 펌프의 내부성은 매우 중요합니다. 공정 호환성 이외에도 작은 설치 면적과 낮은 작동 비용은 특히 중요한 펌프 매개변수입니다. P 시리즈는 동일한 설치 면적을 유지하면서도 이전 모델에 비해 전력 입력을 최대 53% 낮춤으로써 이런 요구조건을 충족시킵니다.

이 펌프 시리즈는 A 103 P 건식 공정 펌프에 기초하고 있습니다. 당사는 이 시리즈에서 두 개의 모델을 선택하여 공정 압력 범위에서 펌프 속도 및 기체 처리량을 향상시키기 위하여 루츠 펌프로 보완했습니다. 전력 입력은 A 103 P의 6단계 설계와 에너지 효율 모터로 인해 낮은 상태로 유지됩니다. A 103 P의 6단계 설계는 다양한 단계들 사이의 차압과 펌프의 전력 입력을 감소시킵니다. 6단계 이외에도 대규모 유입 단계와 높은 회전 속도는 높은 펌프 속도와 낮은 최종 압력을 가능하게 해줍니다.

펌프 블록의 출구 측면에 직접 소음기를 설치함으로써 소형 펌프 설계가 가능하며 추가 가열 슬리브 없이 펌프 블록에 의한 소음기의 직접 가열을 통하여 에너지 절감을 이끕니다. 전체 펌프의 온도 제어 및 연속 모니터링 가열은 반응 부산물의 응축을 방지하기 위하여 필요합니다.

P 시리즈 대기 옵션으로 인해 펌프는 냉각수를 덜 사용할 뿐만 아니라 작동 비용의 절감을 이끄는 공정 작업 이외의 플라싱 기체 소모를 감소시킵니다.

광범위한 활성 및 제어 옵션은 수동 제어 모드 뿐만 아니라 시스템 제어 및 모니터링 네트워크에 연결을 통한 제어를 허용합니다. 중요한 매개변수는 통계적인 평가를 위하여 직접 출력 및 추출될 수 있습니다.

P 시리즈는 CE 및 SEMI S2를 준수합니다.

#### 4.6.5 거친 공정 화학

특히 반도체 및 태양열 산업에서 진행중인 공정 개발은 사용되는 진공 펌프에 계속 새로운 요구를 추가합니다. 입증된 다단계 루츠 펌프 기술을 기초로 하여 파이버 베콤은 이런 산업 분야의 공정 요구에 대해 H 시리즈로 완벽한 솔루션을 제공합니다. 공정 압력에서의 기체 처리량, 입자 허용치, 응축 저항은 이전 펌프 솔루션에 비해 상당히 증가했습니다.

P(공정용) 시리즈 펌프와 마찬가지로 H 시리즈(거친 공정용) 펌프는 온도 제어 및 불활성 기체 플라싱 시스템이 장착되어 있습니다. 하지만 공정에 대한 조정을 최적화하기 위한 매개변수 범위는 P 시리즈 펌프보다 더 광범위합니다.

이 펌프 시리즈는 A 203 H 건식 공정 펌프에 기초하고 있습니다. 당사는 이 시리즈에서 세 개의 추가 가모델을 선택하여 공정 압력 범위에서 펌프 속도 및 기체 처리량을 향상시키기 위하여 루츠 펌프로 보완했습니다. 특수 재료의 사용으로 인하여 이 펌프의 부식성 기체 장비는 NF<sub>3</sub>와 같은 강력한 산화제의 사용을 가능하게 해줍니다. 펌프의 온도 범위가 넓기 때문에 펌프는 낮은 온도에서 텅스텐 퇴적 또는 높은 온도에서 질화물의 퇴적과 같은 매우 다양한 공정에 적용할 수 있습니다. 매우 효율적인 모터는 낮은 온도에서 에너지 절감을 이끌고 자체의 높은 토크 덕분에 펌프 정지 시간 이후에 양호한 시작 속성을 제공합니다.

A3H 시리즈의 모델들은 동일한 인터페이스와 동일한 매개체 연결 덕에 P 시리즈의 펌프들과 이상적으로 호환 가능합니다. 이것은 기존 생산 공장에서는 한 개의 공정이 바뀔 경우 펌프 교환으로 인한 최소 설치 작업으로 최적화된 펌프 솔루션을 얻을 수 있음을 의미합니다.



그림 4.15: A 1503 H 공정 펌핑 스테이션

파이퍼 베큘은 다양한 산업 부문에서의 동적 공정 개발을 항상 모니터링하고 있으며 앞으로도 이런 요구조건을 충족시키기 위하여 최적화된 펌프 솔루션 제공을 계속 할 것입니다. 초기 개요는 8장, 오염 관리 솔루션에서 제공됩니다.

#### 4.6.6 포트폴리오 개요

##### 4.6.6.1 수냉식 공정 펌프

ACP 120 / ACP 120 G의 펌프 속도와 최종 압력은 루츠 펌프는 루츠 펌프와 결합하면 더 증가할 수 있습니다. 최적화된 펌프 버전은 더 큰 부피에서 사용 가능합니다.

제공된 기술 데이터는 본선 주파수가 50Hz일 경우입니다. 표준은 1 m<sup>3</sup>을 넘지 않습니다. A 203 H 및 A 1803 H 유형 펌프의 특별 버전은 부피가 최대 50 m<sup>3</sup>일 경우에 적합합니다.

세 번째 루츠 단계로 A 1803 H 모델을 보완하면 소형이면서 극히 강력한 펌핑 스테이션에 CVD 공정에 대한 최대 펌프 속도를 제공합니다. AD 73 KH는 건식 공정 펌프에 대한 자체 프레임에서 정격 펌핑 속도가 4,500 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup>인 주파수 제어 루츠 펌프를 사용합니다. 모듈 구조이므로 설치가 쉬우며, 펌핑 스테이션에서 다양한 펌프가 개별적으로 선택되어 정비 작업 시 유지될 수 있습니다. 유입 측면의 루츠 펌프 주파수 변환기는 광범위한 기체 처리량 범위에 대한 공정 매개변수와 매우 다양한 공정 기체에 대한 조정을 허용합니다.

비부식성 어플리케이션용 다단계 루츠 펌프

모델	펌프 속도	퍼지 기체 있는/없는 최종 압력	어플리케이션
ACP 120	95 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-2</sup> hPa	최대 1 m <sup>3</sup> 의 부피를 가진 부하 락 및 이송 챔버, 비부식성 기체, 주요 기체, 극저온 펌프의 재생, 비부식성 기체가 있는 터보 펌프용 배압 펌프
ACP 120 G	95 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	9 · 10 <sup>-2</sup> hPa with 35 slm purge gas	
A 100 L	100 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	6.6 · 10 <sup>-3</sup> hPa	
A 100 L ES	100 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	7 · 10 <sup>-4</sup> hPa	

표 4.16: 비부식성 어플리케이션용 수냉식 다단계 루츠 펌프의 성능 데이터

부식성 어플리케이션용 다단계 루츠 펌프

모델	펌프 속도	퍼지 기체 있는/없는 최종 압력	어플리케이션
A 103 P	120 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	6.5 · 10 <sup>-3</sup> hPa 2.6 · 10 <sup>-2</sup> hPa with 20 slm purge gas	건식 식각(산화물과 폴리머) 회분화 스트리핑 RTP 주입
A 603 P	480 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	5 · 10 <sup>-4</sup> hPa 2 · 10 <sup>-3</sup> hPa with 20 slm purge gas	
A 1003 P	900 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	3 · 10 <sup>-4</sup> hPa 1 · 10 <sup>-3</sup> hPa with 20 slm purge gas	

표 4.17: 비부식성 어플리케이션용 P 시리즈 수냉식 다단계 루츠 펌프의 성능 데이터

부식성 어플리케이션용 다단계 루츠 펌프(거친 공정)

모델	펌프 속도	퍼지 기체 있는/없는 최종 압력	어플리케이션
A 203 H	130 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	6 · 10 <sup>-2</sup> hPa 5 · 10 <sup>-1</sup> hPa with 50 slm purge gas	금속 식각 CVD(PECVD, SACVD, LPCVD) ALD 에피택시 건식 식각
A 803 H	600 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-3</sup> hPa 1 · 10 <sup>-2</sup> hPa with 50 slm purge gas	
A 1503 H	1,100 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa 9 · 10 <sup>-3</sup> hPa with 50 slm purge gas	
A 1803 H	1,650 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup> hPa 9 · 10 <sup>-3</sup> hPa with 50 slm purge gas	
AD 73 KH	4,700 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	8 · 10 <sup>-4</sup> hPa 3 · 10 <sup>-3</sup> hPa with 50 slm purge gas	

표 4.18: 비부식성 어플리케이션용 H 시리즈 수냉식 다단계 루츠 펌프의 성능 데이터(거친 공정)

### 4.6.6.2 부속품

#### 지진 브래킷 키트

지진 브래킷 키트는 펌프가 작동 현장에서 제자리에 고정되게 해주고, 지진으로 인한 모든 변위와 고진공 라인의 분리를 방지해줍니다.

#### 원격 제어

원격 제어는 펌프 매개변수가 펌프의 통합 메모리에 설정되어 저장되게 해줍니다. 펌프 매개변수는 실시간으로 변위될 수 있습니다.

#### 인터페이스

펌프와 시스템 제어 사이의 고객 맞춤형 인터페이스는 생산 공장 제어 유닛에 링크를 제공하도록 만들어질 수 있습니다.

#### 물 연결

펌프에 물 연결 및 냉각수 라인에 연결할 적절한 급속 피팅 커플링은 가능하면 최고의 부식 안정성을 제공하기 위하여 황동 및 스테인레스강 버전에서 사용 가능합니다.

나열된 부속품은 이 장에서 설명된 모든 유형의 펌프에 권장 또는 사용 가능한 것은 아닙니다. 추가 인터페이스, 전기 안전, 연결 또는 안전한 배송을 위한 추가 부속품은 요구 시 공급될 수 있습니다.

## 4.7 루츠 진공 펌프

### 4.7.1 설계 / 작동 원리

1단계 루츠 펌프의 작동 원리는 4.5장에서 설명된 다단계 펌프의 작동 원리와 동일합니다. 루츠 진공 펌프에서 두 개의 동기 역회전 로터(4)는 하우징에서 비접촉 회전합니다(Figure 4.16 참조). 로터는 8자형 구성이고 좁은 간격으로 서로 그리고 회전자에서 분리되어 있습니다. 이 펌프의 작동 원리는 유입구(3)에서 출구(12)로 기체를 펌프하고 각각 한 개의 2-톱니 기어를 가진 기어 펌프의 작동 원리와 유사합니다. 한 개의 샤프트가 모터(1)에 의해 구동됩니다. 나머지 샤프트는 기어 챔버 안에 있는 한 쌍의 기어(6)에 의하여 동기화됩니다. 윤활은 두 개의 베어링과 기어 챔버로 제한되는데, 기어 챔버는 압축 링이 있는 래비린드 실(5)에 의하여 흡입실(8)에서 밀봉됩니다. 흡입실에서는 마찰이 일어나지 않기 때문에 루츠 진공 펌프는 높은 회전 속도(1,500 – 3,000 rpm)로 작동될 수 있습니다. 교환 질량이 없으므로 동적 균형에 문제가 없습니다. 이는 루츠 진공 펌프가 고속에도 불구하고 무척 조용히 작동함을 의미합니다.

#### 설계

로터 샤프트 베어링은 두 개의 측면 커버 속에 배열되어 있습니다. 이들은 한 쪽 측면에 고정 베어링으로, 다른 쪽 측면에 이동 가능(느슨한) 베어링으로 설계되어 하우징과 로터 사이에서 불공정한 열 팽창이 가능합니다. 베어링은 스플래시 디스크에 의해 베어링과 기어로 변위되는 오일로 윤활됩니다. 표준 버전에서 외부로의 구동축 피드스루는 밀봉 오일에 담

근 FPM으로 만들어진 방사상 샤프트 실 링으로 밀봉됩니다. 샤프트를 보호하기 위하여 마모 시 교체 가능한 보호 슬리브 위에 실링 링이 장착됩니다. 외부 용접 밀봉이 요구될 경우, 펌프는 캔에 들어 있는 영구 자석 커플링에 의하여 구동될 수도 있습니다. 이 설계는  $10^{-6} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$  이하의 누출률  $Q_L$ 을 제공합니다.

#### 펌프 속성, 가열

루츠 펌프엔 내부 압축 또는 배출 밸브가 없기 때문에 흡입실이 열리면 기체 부피가 흡입실로 밀려 들어와 출구 압력에 반하여 재방됩니다. 이런 영향의 결과로, 특히 유입구와 출구 사이에 높은 차압이 있을 경우, 높은 수준의 에너지 소멸이 발생하여 소량의 열만을 전달하는 낮은 기체 흐름에서 펌프의 강당한 가열을 유발합니다. 회전하는 루츠 피스톤은 실제로 진공 절연 상태에 있기 때문에 하우징에 비해 냉각하기가 비교적 어렵습니다. 결과적으로 이 피스톤은 하우징보다 더 많이 확장됩니다. 접촉 또는 장악을 방지하기 위하여 가능한 최대 차압과 소멸된 에너지가 과류 밸브(7)에 의해 제한됩니다. 이것은 펌프 스루 채널의 유입구 측면과 압력 측면에 연결됩니다. 중량 적재된 밸브 판은 최대 차압을 초과하여 처리량에 따라 더 크거나 더 작은 양의 유입 기체가 압력 측면에서 유입구 측면으로 흘러들 경우에 열립니다. 제한된 차압으로 인해 표준 루츠 펌프는 대기압에 반하여 방전할 수 없고 배압 펌프를 필요로 합니다. 그러나 과류 밸브가 있는 루츠 진공 펌프는 심지어 대기압에서도 배압 펌프와 함께 켜질 수 없으며, 따라서 시작 시부터 펌프 속도를 증가시킵니다. 그럼으로써 배출 횟수가 줄어듭니다.

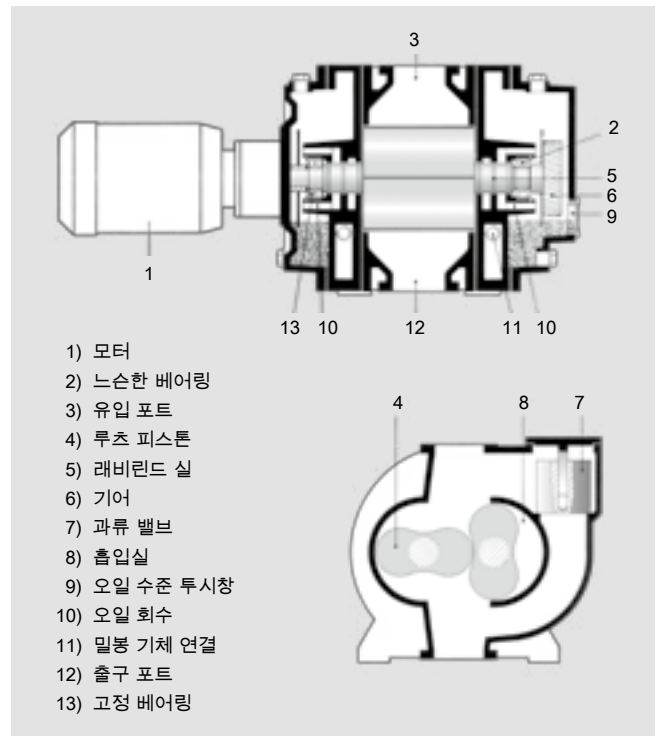


그림 4.16: 루츠 펌프의 작동 원리

**배압 펌프**

1단계 또는 2단계 회전 날개 펌프 또는 외부 날개 펌프는 오일 윤활 배압 펌프로 사용됩니다. 나사 펌프 또는 다단계 루츠 펌프는 건식 배압 펌프로 사용될 수 있습니다. 이와 같은 펌프 조합은 저질공 및 중간 진공 범위에서 높은 펌프 속도를 가진 모든 어플리케이션에서 사용될 수 있습니다. 액체 링 펌프도 배압 펌프로 사용될 수 있습니다.

**기체 순환 냉각 루츠 펌프**

루츠 진공 펌프가 대기압에 반하여 작동하도록 하기 위하여 일부 모델은 기체 냉각식이며 과류 밸브가 없습니다(Figure 4.17 참조). 이 경우 냉각기(7)를 통하여 출구 플랜지(6)에서 흐르는 기체는 흡입실(4)의 중앙으로 재유입됩니다. 인공적으로 생성된 이 기체 흐름은 펌프를 냉각시키고, 펌프가 대기압에 반하여 압축할 수 있게 해줍니다. 기체 진입은 루츠 피스톤에 의하여 제어되며, 따라서 모든 추가 밸브에 대한 요구를 제거합니다. 최종 압력에서 작동 시에도 열 과부하의 가능성은 전혀 없습니다.

Figure 4.17은 기체 순환 냉각 루츠 진공 펌프의 횡단면을 보여줍니다. 기체 흐름의 방향은 위에서 아래로 수직이며, 유입구에서 혼입된 액체 또는 고체 입자가 아래로 흐르도록 해줍니다. 단계 I에서, 챔버(3)가 피스톤 (1)과 (2)의 회전에 의해 열립니다. 기체가 압력  $p_1$ 에서 유입구 플랜지(5)를 통하여 챔버로 흘러 들어갑니다. 단계 II에서, 챔버(3)가 유입구 플랜지와 압력 플랜지에 반하여 밀봉됩니다. 냉각 기체를 위한 유입구 구멍(4)이 단계 III에서 피스톤 회전에 의해 열립니다. 챔버 (3)는 유입구 압력  $p_2$ 로 채워지고 기체는 압력 플랜지 방향으로 유입됩니다. 초기엔 흡입 부피가 루츠 피스톤의 회전 이동으로 변하지 않습니다. 기체는 유입 냉각 기체에 의해 압축됩니다. 루츠 피스톤은 이제 회전을 계속하고(단계 IV), 이런 이동이 냉각기(7) 위의 압축된 기체를 압력  $p_2$ 에서 방전 측면으로 밀어냅니다(단계 V).

기체 냉각 루츠 펌프는 130~1,013 hPa의 유입구 압력 범위에서 사용될 수 있습니다. 흡입실엔 윤활제가 없기 때문에 펌프는 어떤 분무도 방전하지 않거나 펌프되고 있는 매개체를 오염시키지 않습니다. 이 펌프 두 개를 직렬로 연결하면 최종 압력이 20~30hPa로 낮춰질 수 있습니다. 추가 루츠 진공 펌프와 결합하면 최종 압력이 중간 진공 범위로 낮춰질 수 있습니다.

**펌프 속도와 압축비**

루츠 펌프의 특징적인 성능 데이터는 펌프 속도와 압축비입니다. 이론적인 펌프 속도  $S_{th} = S_0$ 는 펌프가 역압 없이 변위하는 체적 유량을입니다. 기체 변위 없이(유입구 플랜지 닫힘) 작동될 경우의 압축비  $K_0$ 는 출구 압력  $p_2$ 에 따라 달라집니다. 펌프 속도 범위는  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 에서 수천  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 입니다. 일반적인  $K_0$  값은 10에서 75 사이입니다.

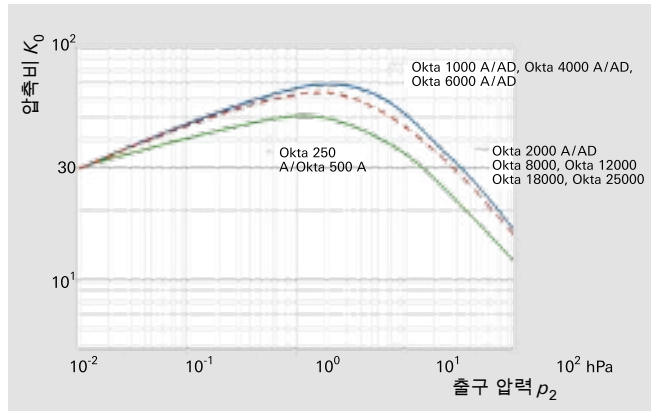


그림 4.18: 루츠 펌프의 공기에 대한 무부하 압축비

압축비는 다음 두 가지에 의하여 부정적인 영향을 받습니다.

- 피스톤과 하우징 사이의 틈새로 역류
- 출구 측면의 피스톤 표면에 흡착함으로써 퇴적되었다 흡입 측면을 향하여 회전한 후 재탈착되는 기체

출구 압력이  $10^{-2} \sim 1$  hPa인 경우, 분자 흐름이 실 틈새에서 우세하게 일어나 낮은 전도성으로 인해 역류가 감소합니다. 그러나 흡착을 통해 다시 유입되고 배출된 기체 부피에 비해 비교적 높은 기체의 부피는 압축비를 감소시킵니다.

$K_0$ 는 1~10 hPa 범위에서 가장 높습니다. 왜냐하면 밀봉 틈새에서의 분자 흐름이 펌프의 낮은 유입구 압력으로 인해 우세하고 따라서 역류가 낮기 때문입니다. 흡착을 통한 기체 이송은 압력과 관계가 없기 때문에 펌프 속도에 의해 전달되는 압력 비례 기체 흐름보다 덜 중요합니다.

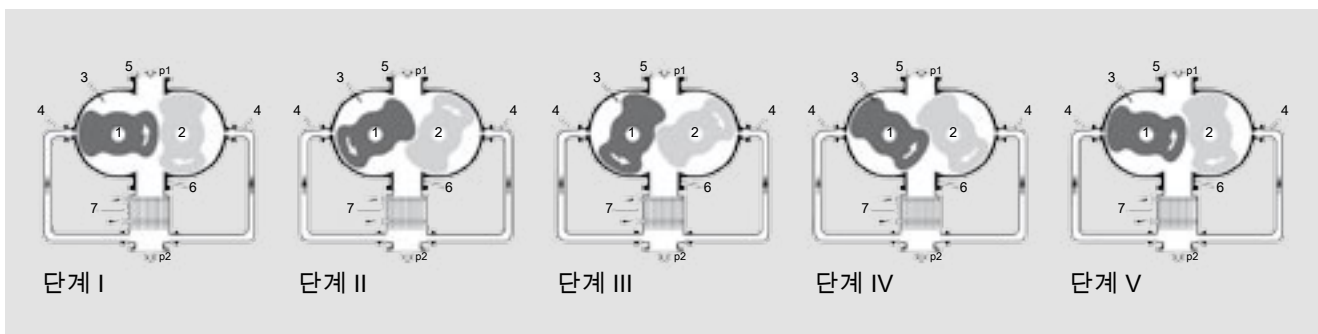


그림 4.17: 기체 냉각 루츠 펌프의 작동 원리

10 hPa를 초과하는 압력에서는 증류 흐름이 틈새에서 일어나고 증의 전도성은 크게 증가하여 압축비를 감소시킵니다. 이 효과는 대략  $K_0 = 10$ 인 압축비를 달성하는 기체 냉각 루츠 펌프에서 특히 주의해야 합니다.

틈새 폭은 압축비에 커다란 영향을 미칩니다. 하지만 피스톤과 하우징은 열 팽창이 서로 다르기 때문에 로터-회전자-접촉을 피하기 위하여 일정한 최소 값 이하로 떨어져서는 안 됩니다.

4.7.2 어플리케이션

낮은 압축비로 인하여 루츠 펌프는 항상 진공 생성을 위한 펌프 조합으로써 작동되어야 합니다. 이 펌프가 도달 가능한 최종 압력은 선택된 배압 펌프의 최종 압력과 관계가 있습니다. 흡착을 통한 기체 이송으로 인하여  $10^{-4}$  hPa 이하의 범위에서 루츠 펌프를 사용하는 것은 더 이상 실용적이지 않습니다. 다양한 배압 펌프에서 펌핑 스테이션의 펌프 속도와 최종 압력 행동은 Figure 4.19에 나와 있습니다. 곡선은 이런 종류의 펌프 조합의 펌프 속도가 8의 인수만큼 상승하며 최종 압력이 배압 펌프에 비해 15의 인수만큼 감소함을 보여줍니다.

4.7.2.1 배압 펌프 선택

회전 날개 펌프

기능에 대한 부정적인 영향이 공정으로 인한 것이 아니라면 회전 날개 진공 펌프는 루츠 진공 펌핑 스테이션을 위한 가장 비용 효율적인 배압 펌프입니다. 회전 날개 진공 펌프는 일정한 펌프 속도에서 폭 넓은 압력 범위에 대한 최종 압력이 약  $p < 1$  hPa입니다. 루츠 진공 펌핑 스테이션은 기체 밸러스트 밸브가 열린 상태에서 약  $10^{-2}$  hPa의 최종 압력에 도달합니다. 수증기는 많은 용제 증기와 충분히 높은 증기압을 가지며 화학적으로 펌프 오일을 분해하지 않는 다른 증기와 마찬가지로 이런 종류의 펌핑 스테이션으로 추출될 수 있습니다. 이런 예에는 알코올, 할로겐화 탄화수소, 가벼운 일반 파라핀과 그 외에도 다른 많은 물질들이 포함됩니다.

액체 링 진공 펌프

액체 링 진공 펌프는 배압 펌프 오일을 화학적으로 공격하고 분해하거나 증기압이 너무 낮아 기체 밸러스트가 있음에도

불구하고 배압 펌프에서의 응축을 피할 수 없는 증기를 추출하는 데에 적합한 솔루션입니다. 그러나 이 펌프는 작동 유체의 증기압에 의해 결정되는 최종 압력에만 도달합니다. 15°C의 물이 사용될 경우, 액체 링 진공 펌프에서 약 20 hPa의 최종 압력이 예상될 수 있으며, 이 압력은 이미 공동화 범위에서 작동 중입니다. 공동화는 펌프의 최종 압력 근처에서 일어납니다. 작동 유체는 유입 측면에서 증발하고, 증기 거품은 압력 측면에서 갑자기 사그라듭니다. 이것이 장기간에 걸쳐 펌프를 망가뜨립니다. 공기 공급을 통하여 공동화 없는 상태에서 작동하는 액체 링 펌프는 약 25~30 hPa의 최종 압력에 도달하며, 루츠 펌프와 액체 링 펌프의 조합은 약 1 hPa의 압력에 도달합니다. 액체 링 펌프는 환경적으로 해로운 물질을 내보낼 때 신선한 물과 함께 사용되어서는 안 됩니다. 이 경우에는 압축 열을 추출하기 위하여 적합한 작동 유체를 냉각 열 교환기로 유입시키기 위하여 닫힌 순환 체계가 제공되어야 합니다.

기체 분사 장치가 있는 액체 링 진공 펌프

루츠 진공 펌프와 기체 분사 장치와 액체 링 진공 펌프를 조합하면 0.2 hPa의 최종 압력에 도달합니다. 더 낮은 압력에 도달해야 한다면 추가 루츠 진공 펌프가 업스트림에 연결되어야 합니다.

기체 순환 냉각 루츠 진공 펌프

루츠 진공 펌프는 기술적으로 건식 펌프이기 때문에 액체 밀봉 흡입실이 있는 펌프를 사용할 수 없을 때 이 펌프의 사용이 바람직합니다.

이 펌프의 어플리케이션에는 다음이 포함됩니다.

- 저온 유지 장치에서 헬륨의 추출 및 압축
- SF<sub>6</sub>의 추출 및 압축
- 매우 다양한 공정에서 매우 다양한 기체 및 증기의 청정 회복(예: 증류)
- 분자 여과기 등 비우기
- 닫힌 루프 시스템에서 독성 물질의 펌프 다운 및 재순환
- 초대형 용기의 비우기

기체 냉각 루츠 펌프를 사용한 루츠 펌핑 스테이션은 매우 다양한 유입구 특성과 함께 구성될 수 있습니다. 극단적인 경우에는 1,000 hPa~ $10^{-3}$  hPa의 전체 압력 범위를 통하여 현실적으로 일정한 펌프 속도에 도달하는 것이 가능하고, 개별 펌프 단계는 2:1~3:1의 비율로 선택될 수 있습니다. 하지만 이를 위해서는 루츠 진공 펌프에 따라서 강력한 모터가 장착되어야 하고, 대기에 대해 과류 밸브 대신 출구 밸브가 제공되어야 합니다.

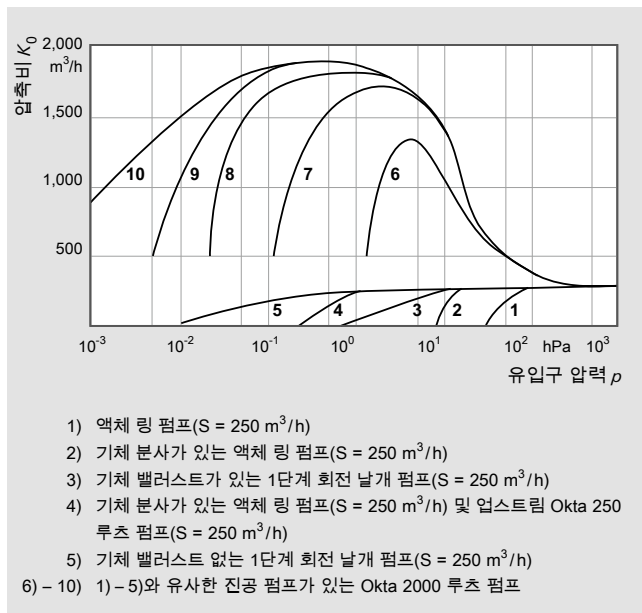


그림 4.19: Oka 2000 및 다양한 배압 펌프를 사용한 펌핑 스테이션의 펌프 속도



## 나사 펌프

HeptaDry 나사 펌프를 사용하면  $100\sim600\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 의 펌프 속도를 제공하는 기술적으로 건식 펌프의 완전한 라인을 사용할 수 있습니다. 독립형(그림 4.4 참조)인 이 펌프는 저진공 및 중간 진공 부문의 확장된 압력 범위를 포괄합니다. 내부 압축으로 인해  $0.1\sim1,000\text{ hPa}$ 의 전체 유입구 압력 범위를 통하여 비교적 낮은 구동 전원으로 계속 작동할 수 있습니다. Okta-Line 루츠 펌프와 조합하면  $5 \cdot 10^{-3}\text{ hPa}$ 의 최종 압력에 도달하는 것도 가능합니다.

## 다단계 루츠 펌프

ACP 범위의 다단계 루츠 펌프는 펌프 속도가 최대  $285\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 인 소형 펌핑 스테이션에 적합합니다. ACP 배압 펌프와 루츠 펌프를 조합하면 최대  $5 \cdot 10^{-3}\text{ hPa}$ 의 최종 압력에 도달하는 것이 가능합니다.

루츠 펌핑 스테이션의 부식성 기체 버전은 4.6장에 설명되어 있습니다.

## 4.7.3 포트폴리오 개요

루츠 펌프는 다음과 같이 많은 다른 버전에 공급될 수 있습니다.

- 샤프트 실 링과 주철 하우징이 있는 표준 펌프
- 자석 커플링과 주철 하우징(M 시리즈)이 있는 용접 밀봉 표준 펌프
- 샤프트 실 링(G 시리즈) 또는 자석 커플링이 있는 기체 순환 냉각 루츠 펌프
- 폭발 가능성이 있는 환경 및 폭발성 기체의 범위에 적합한 루츠 펌프(ATEX 시리즈)

### 4.7.3.1 표준 펌프

표준 펌프의 특징적인 성능 데이터는 Table 4.19에 나와 있습니다. 이 성능 데이터는 다른 모든 시리즈에도 적용됩니다. 최대 차압은 과류 밸브와 관계가 있습니다. ATEX 시리즈에서는 ATEX 가이드라인에 지정된 온도 요구조건을 충족시키기 위하여 이 최대 차압이 다른 시리즈의 차압보다 더 작습니다. 이 펌프들의 하우징은 GG 주철로 제조되어  $100\text{ kPa}$ 의 과압에서 검사됩니다. 대기 방향 실은 방사상 샤프트 실 링으로 구성되어 있습니다. 표준 펌프는 높은 압축비 뿐만 아니라 튼튼한 소형 설계가 특징이며, 펌프 조합 시 소형 배압 펌프와 함께 높은 펌프 속도를 내며, 따라서 펌프 다운 횟수가 적습니다. 수직 방향 흐름은 이 펌프를 대체로 먼지와 액체에 둔감하게 만듭니다.

### 4.7.3.2 자석 커플링이 있는 표준 펌프

M 시리즈는 밀봉 시 가장 요구조건이 가장 엄격하고 가장 긴 서비스 간격을 요구하는 공정에 사용될 수 있습니다. 대부분의 경우 이 시리즈는 표준 시리즈와 동일하지만 방사상 샤프트 실 링 대신 용접 밀봉된 자석 커플링이 있다는 것이 추가적인 특징입니다. 이것은 작동 시 현실적으로 마모가 없음을 의미합니다. 펌프의 전체 누출률은  $1 \cdot 10^{-6}\text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  미만입니다. 그래서 오일 누출 가능성이 없으며, 공정 기체와 환경 사이엔 어떤 교환도 없습니다. M 시리즈 표준 펌프는 Table 4.19에 나와 있는 모든 어플리케이션에 적합합니다. 그렇지만 이 펌프는 최고 청정 기체 어플리케이션(예: 반도체 산업의 CVD 및 PVD 공정 또는 부하 락/이송 챔버 비우기 및 평면 스크린 생산) 뿐만 아니라 유독성 기체의 배출을 위한 산업/화학 어플리케이션에도 채용될 수 있습니다. M 시리즈는 범위가  $250\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\sim6,000\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 인 크기에서 사용 가능합니다.

### 4.7.3.3 폭발 보호 펌프

ATEX 시리즈는 폭발 가능성이 있는 환경의 공정 또는 폭발성 기체의 비우기에 사용 가능합니다.

ATEX 시리즈는  $500\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\sim4,000\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 의 펌프속도로 사용 가능합니다. 이 시리즈는 PTFE 밀봉이며 GGG 40.3 구상 흑연 주철로 만들어졌습니다. 이 시리즈는 고시 94/9/EC, 카테고리 3G, 그룹 IIB, 온도 등급 T3 X를 충족시킵니다.

일반적으로 말해 안전한 펌프 작동(예: 가동 및 폐쇄 절차, 특수 배압 펌프, 플래시백 피로기, 압력 감지기)에 추가 측정 및/또는 구성품이 요구됩니다. 전체 시스템은 적절한 폭발 보호 규정을 준수하여 설계 및 작동되어야 합니다.

### 4.7.3.4 기체 순환 냉각 루츠 펌프

기체 순환 냉각 루츠 펌프는 배압 펌프 없이 작동될 수 있습니다. 커다란 압력 범위와 매우 높은 차압은 이런 유형의 펌프를 위한 이상적인 사용입니다. 높은 차압에서 연속 사용이 가능합니다. 왜냐하면 압축에 의해 가열된 기체가 압력 측면에서 냉각되어 부분적으로 흡입실로 되돌아가기 때문입니다. 그래서 기체 냉각기와 조합하여 사용되면 대기압에서의 작동에 적합합니다. 기체 순환 냉각 루츠 펌프는  $500\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (18.5 kW 구동 전원)에서 최대  $8,000\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (200 kW 구동 전원)까지의 크기에서 사용 가능합니다.

루츠 펌프 OktaLine

모델	정격 펌프 속도	최대 차압	최대 압력비	어플리케이션
Okta 250	$290\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	75 hPa	50	산업/화학적 어플리케이션: 예를 들면, 오일 재생, 변압기 건조, 강철 탈기체, 냉동 건조, 누출 감지 시스템, 금속 공학, 포장 산업, 전자 빔 용접
Okta 500	$560\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	75 hPa	50	
Okta 1000	$1,180\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	45 hPa	63	
Okta 2000	$2,155\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	35 hPa	70	
Okta 4000	$4,325\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	25 hPa	63	거대 영역 코팅: 광전지, 마모 보호, 광학 코팅
Okta 6000	$6,485\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	20 hPa	63	연구 및 개발: 가속기, 시뮬레이션 챔버
Okta 8000	$8,370\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	27 hPa	70	
Okta 18000	$18,270\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	10 hPa	70	

표 4.19: OktaLine 성능 데이터

#### 4.7.4 부속품

스플린더 실드 삽입은 모든 OktaLine 시리즈 루츠 펌프에 부속품으로 제공됩니다.

기어 장치와 베어링 윤활을 위한 다음 오일들은 윤활제로 사용 가능합니다(Table 4.11 참조).

- 광유 P3(0.5 l~200 l 용기)
- 퍼플루오르폴리에터 F5(0.5 l~50 l 용기)
- 다이에스테르 오일 D1(0.5 l~200 l 용기)

주의: 다른 종류의 오일이 혼합되어서는 안 됩니다. 펌프는 이런 유형의 오일 중 하나가 주입될 준비가 되어 있습니다.

많은 루츠 펌프가 펌프 조합에서 설치되기 때문에 다음 부속품을 필요에 따라 통합하는 것이 가능합니다.

- 전기 제어기
- 온도 및 압력 측정 기기 장치
- 압력 조절 시스템
- 열 교환기 및 콘덴서
- 실내 및 실외 설치용 방음 캡슐화
- 소음기
- 먼지 분리기
- 플러싱 장치
- 진동 분리
- 액체 분리기
- 기어 챔버 비우기
- 밀봉 기체 공급

#### 측정 연결

많은 루츠 펌프의 경우 펌프의 유입구 및 압력 측면에서 측정 연결을 사용하는 것이 가능합니다. 이렇게 하면 기존 잠금 나사가 소형 ISO KF 플랜지 조합으로 교체될 수 있습니다. 또 적절한 온도 센서와 압력 센서가 펌프 모니터링을 위하여 연결될 수 있습니다.

#### 밀봉 기체 연결

용제 또는 반응 기체를 배출할 때는 윤활제가 응축의 결과로 상당히 희석될 위험이 존재합니다. 반응 기체 또는 증기는 기어 챔버의 부품을 공격할 수도 있습니다. 대부분의 경우 이런 위험은 작업 공간과 기어 챔버 사이의 샤프트 피드스루 영역으로 밀봉 기체를 유입시킴으로써 피할 수 있습니다. 주로 질소(N<sub>2</sub>)인 불활성 기체는 밀봉 기체로 사용됩니다.

#### 기어 챔버 비우기

대형 루츠 진공 펌핑 스테이션이 짧은 사이클 타임에 일정한 압력에 도달해야 하는(빠른 비우기) 모든 공정의 경우, 각 챔버의 개별 진공 펌프에 의하여 오일 분리를 경유하여 루츠 펌프의 기어 챔버를 펌프 다운하는 것이 실용적입니다. 이것은 기체가 기어 챔버 밖으로 흘러 나가 흡입실로 흘러 들어가는 것을 방지함으로써 원하는 작동 압력에 더 빠르게 도달하게 해줍니다. 원하는 작동 압력은 기어 챔버를 루츠 펌프의 배압 진공 측면으로 연결하는 것이 가능한지 아닌지를 결정합니다.

#### 플러싱 장치

플러싱 장치는 흡입실에서 퇴적물이 형성되는 공정에 사용될 수 있습니다. 이 장치의 설계는 특수한 요구조건을 기초로 해서 고객과 개별 조정됩니다. 표준 펌프의 플러싱 장치는 플러싱 액체가 베어링 또는 기어 챔버에 도달하는 것을 방지하기 위하여 밀봉 기체의 사용을 요구합니다.

#### 표면 보호

펌프 매개체가 부식성일 경우 제품과 접촉하는 구성품은 내구성이 있는 표면 보호가 제공될 수 있습니다. 플라즈마 폴리머 박층 시스템은 접착제층, 부식 보호층, 비접착 코팅으로 구성됩니다. 층의 두께는 1 µm 미만입니다. 요구가 있으면 흡입실은 인산염화되고, 질소로 환기되고, 단기 표면 보호를 제공하기 위하여 진공 밀봉됩니다(참고 저장 및 수송).

#### 실

루츠 진공 펌프는 FKM으로 만들어진 오링이 공장에서 장착된 제품입니다. 특수 어플리케이션의 경우 모든 펌프는 각각의 어플리케이션에서 필요한 특정한 오링 또는 실이 장착될 수 있습니다.

#### 4.7.5 펌핑 스테이션

파이퍼 베콤은 표준 펌프에 건식 펌프의 한 종류 뿐만 아니라 오일 윤활된 1단계 및 2단계 회전 날개 펌프를 공급할 수 있습니다. 자세한 내용은 242쪽의 3.1장을 참조하십시오.

표준 펌핑 스테이션 이외에도 파이퍼 베콤의 진공 시스템 그룹은 고객 맞춤형 펌핑 스테이션(루츠 펌핑 스테이션 및 터보 펌핑 스테이션)을 설계 및 제조합니다.

OnTool Booster				
모델	펌프 속도	기본 압력	압축 비	어플리케이션
OnTool Booster 150	130 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup>	1 · 10 <sup>-5</sup> hPa	10 <sup>8</sup>	부하 락, 터보 펌프용 배압 압력

표 4.20: OnTool Booster 성능 데이터

## 4.8 측면 채널 고진공 펌프

### 4.8.1 설계 / 작동 원리

측면 채널 고진공 펌프는 대기압에서 고진공 범위까지 작동하는 진공 펌프입니다. 이 펌프는 측면 채널 펌프(압력 범위 1,000~5 hPa, 종류 흐름)와 홀백 단계(압력 범위 5~10<sup>-5</sup> hPa, 전이 및 분자 흐름)의 조합입니다.

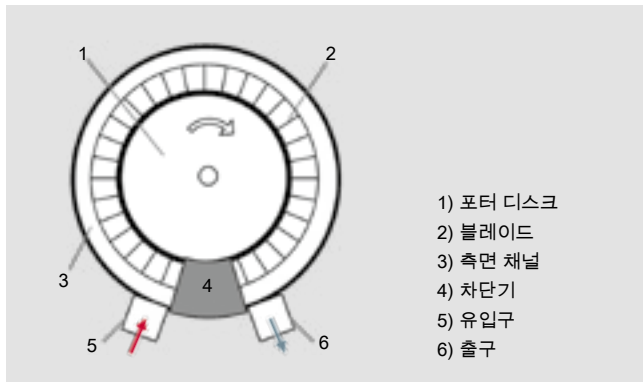


그림 4.20: 측면 채널 진공 펌프의 작동 원리

측면 채널 진공 펌프(Figure 4.20)의 펌핑 스테이션은 외부 주변에 정렬되어 있는 블레이드(2)가 있는 로터 디스크(1), 링 모양 작업 챔버, 측면 채널(3)로 구성됩니다. 측면 채널은 차단기(4) 옆의 한 지점에서 디스크 프로파일로 좁아집니다. 펌핑 효과는 유입구에서 출구까지 회전 로터의 블레이드에 의해 만들어지는 나선 흐름을 통하여 일어납니다. 이것이 유입구(5)와 출구(6) 사이의 차압을 만들어냅니다. 더 낮은 최종 압력은 다중 펌핑 스테이지를 직렬로 연결하면 도달할 수 있습니다.

1~20 hPa의 압력에서 펌프는 종류 흐름 범위를 중단하고, 홀백 단계에서 기체의 변위가 일어납니다.

여전히 높은 측면 채널 펌프 단계의 압력에 적응하기 위하여 홀백 채널은 진공 측면에서 작아지고 틈새는 좁아집니다. 더 큰 채널 횡단면은 펌프 속도를 높이기 위하여 흡입 측면에서 사용됩니다.

### 4.8.2 어플리케이션

측면 채널 진공 펌프는 깨끗한 고진공을 생성하는 데에 특히 적합합니다. 이 펌프는 대기 측면에 한 개의 오일 윤활 베어링만 있기 때문에 완전히 건식으로 작동합니다. 이 펌프는 어떤 배압 펌프나 바이패스 라인을 요구하지 않기 때문에 부하 락 또는 이송 챔버의 빠른 비우기에 이상적으로 적합합니다. 이 펌프는 독립형 펌프 또는 터보 펌프용 배압 펌프로 사용될 수 있습니다. 부식성 기체, 응축물, 부유성 고형물은 좁은 틈새로 인해 배출될 수 없습니다.

### 4.8.3 포트폴리오 개요

파이퍼 베콤은 OnTool Booster 150의 형태로 건식 측면 채널 고진공 펌프를 제공합니다.

## 4.9 터보분자 펌프

### 4.9.1 설계 / 작동 원리

터보분자 펌프는 1958년 W. Becker 박사에 의하여 파이퍼 베콤에서 개발되고 특허를 받았습니다. 터보분자 펌프는 운동 진공 펌프의 카테고리에 속합니다. 이 펌프의 설계는 터빈의 설계와 유사합니다. 블레이드가 있는 디스크가 있고 터빈 같은 다단계 로터가 하우징 안에서 회전합니다. 터빈 또는 압축기의 블레이드는 총괄하여 블레이딩이라 불립니다. 유사한 기하학을 가진 블레이드 고정자 디스크들이 로터 디스크 사이에 마주 보는 거울처럼 포개져 있습니다.

### 베어링

두 개의 볼 베어링으로 터보 펌프 로터의 샤프트를 장착하려면 베어링의 윤활 때문에 전진공 측면에 두 개의 베어링을 정렬해야 합니다. 이렇게 되면 거대한 질량을 가진 로터의 단독(캔틸레버) 지지를 이끕니다.

하이브리드 베어링 지지는 로터 동역학과 관련하여 이 점에서 이점을 제공합니다. 하이브리드 베어링은 한 개의 단일 펌프에 두 개의 베어링 개념을 사용함을 지칭합니다. 이 경우에 오일 윤활 볼 베어링이 전진공 측면의 샤프트 말단에 장착되고, 고진공 측면은 정비가 필요 없고 마모가 없고 로터를 방사상으로 중심에 오도록 조정하는 영구 자기 베어링이 장착됩니다. 전진공 측면 베어링 윤활유는 작동 유체 보유구에 들어 있습니다. 작은 건식 안전 베어링은 자기 베어링 고정자 내에 정렬되어 있습니다. 정상 작동 시 한 개의 저널이 이 베어링 내부에서 자유롭게 회전합니다. 강력한 방사상 충격이 가해질 경우 안전 베어링이 로터를 안정시키고 오직 짧게 회전합니다. 로터가 균형을 잃을 경우 샤프트 양 측면의 베어링들이 플로팅 베어링의 경우보다 더 낮은 베어링 응력 진동력을 생성합니다. 고진공 측면의 자기 베어링은 진동에 완전히 둔감합니다. 그 결과 무척 작은 진동력만 하우징에 전달됩니다. 게다가 그렇기 때문에 크기에 따라 회전 속도를 제한하는 캔틸레버 개념의 두개 베어링 중 더 큰 것이 필요치 않게 됩니다.

플랜지 직경이 100mm인 대형 펌프들은 5-축 자기 베어링이라 알려진 베어링을 교대로 사용합니다[24]. 로터는 거리 센서 및 전자를 경유하는 디지털 전자 제어를 통하여 부상됩니다. 터보 로터의 이동의 자유 정도는 계속 모니터링되고 실시간으로 재조정됩니다. 로터와 하우징 사이의 기계적 접촉의 부재는 펌프에 의해 생성되는 진동을 낮게 유지합니다. 로터는 자신의 관성 축 주위를 회전합니다. 한쪽 측면 코팅 또는 부식(예: 플라즈마 식각)으로 인한 모든 불균형은 광범위한 제한 속에서 상쇄됩니다.

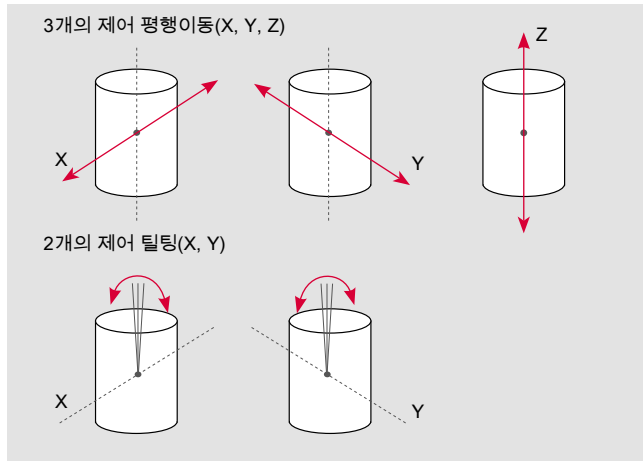


그림 4.21: 터보 로터의 자유도

배압 진공 측면이 오일 부재 이외에도 마모 및 정비 없음이 또 다른 이점입니다. 정전의 경우 펌프의 회전 에너지를 통하여 자기 베어링에 전기가 공급됩니다. 그래서 정전은 몇 분 이내에 쉽게 제어될 수 있습니다. 정전이 더 길어질 경우 통합 안전 베어링의 사용을 통하여 로터가 매우 낮은 속도에서 안전하게 정지하게 됩니다. 시스템 작동 이상 시 펌프에 대한 손상을 피하기 위하여 안전 베어링이 로터를 중단시킵니다.

**모터/구동**

회전 주파수가 최대 1,500Hz(90,000rpm)인 무브러쉬형 직류 모터가 로터를 구동하기 위하여 사용됩니다. 그래서 기체 배출에 필요한 블레이드 속도를 가능하게 합니다.

지금은 구동이 대개 펌프에 직접 부착되어 있습니다. 전원 공급은 24, 48 또는 72 volt 직류이며, 외부 전원 팩 또는 펌프의 전자 유닛에 통합되어 있는 팩에 의해 생성됩니다.

**4.9.1.1 터보분자 펌프 작동 원리**

로터와 회전자 블레이드로 구성된 배열의 펌핑 효과는 빠르게 회전하는 블레이드로부터 펌핑되고 있는 기체 분자까지의 임펄스 전달에 기초를 두고 있습니다. 블레이드와 충돌하는 분자들은 그곳에 흡착되어 일정한 기간 후에도 여전히 블레이드에 남습니다. 이 과정에서 블레이드 속도가 열 분자 속도에 추가됩니다. 블레이드에 의해 전달되는 속도 구성 성분이 다른 분자와의 충돌로 손실되지 않도록 하기 위해서는 분자 흐름이 펌프 속에서 우세해야, 다시 말해 평균 자유 경로가 블레이드 간격보다 더 커야 합니다

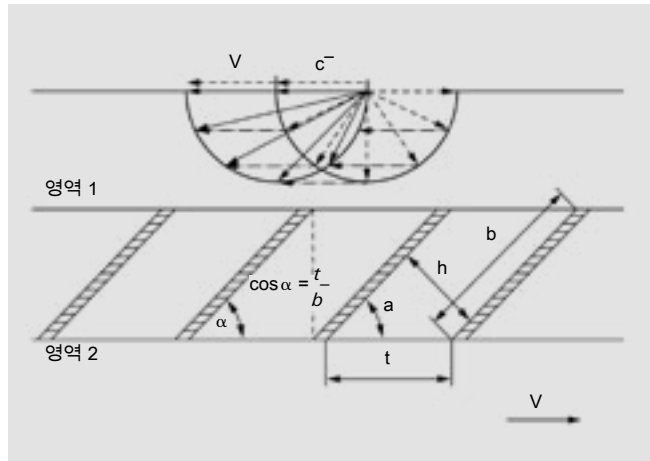


그림 4.22: 터보분자 펌프의 작동 원리

운동 펌프의 경우에 기체 펌핑 시 역압이 발생하고, 이는 역류를 유발합니다. 펌프 속도는  $S_0$ 로 표시됩니다. 체적 유량은 압력이 증가함에 따라 감소하고, 최소 압축비  $K_0$ 에서 0의 값에 도달합니다.

**압축비**

$K_0$ 로 표시되는 압축비는 Gaede에 따라 측정될 수 있습니다 [25]. 다음은 시각적으로 밀도가 높은 블레이드 구조에 적용됩니다(Figure 4.22).

$$K_0 = \exp \left[ \frac{1}{g} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{v}{\bar{c}} \right]$$

공식 4-8: 터보 펌프 압축비

$\bar{c}$  평균 분자 속도 [m · s<sup>-1</sup>]  
 $v$  원주 속도 [m · s<sup>-1</sup>]

공비는 Figure 4.22에 나와 있습니다. 인수  $g$ 는 1과 3 사이입니다 [26]. 방정식에서  $K_0$ 가 블레이드 속도  $v$  뿐만 아니라  $\sqrt{M}$  과 함께 기하급수적으로 증가하는 것은 분명히 다음 공식 때 문입니다.

$$\bar{c} \sqrt{g} = \frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot M} \quad (\text{공식 1-10})$$

결과적으로 질소에 대한 압축비는 예를 들어 수소에 대한 압축비보다 훨씬 더 큼니다.

**체적 유량율(펌프 속도)**

펌프 속도  $S_0$ 는 유입구 영역 A와 블레이드의 평균 원주 속도  $v$  즉 회전 속도에 비례합니다. 블레이드 각도  $\alpha$ 를 고려하면 다음 결과가 나옵니다.

$$S_0 = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{1}{4} \cdot A \cdot v \cdot \sin 2\alpha$$

공식 4-9: 터보 펌프 펌프 속도

플랜지의 진입 전도성

$$C_{Ef} = \frac{\bar{c}}{4} \cdot A \text{ (공식 1-24)}$$

과 최적 블레이드 각도 45°를 모두 고려하면, 다음 공식에 따라 무거운 기체(분자 중량 > 20)에 대한 터보 펌프의 대략적인 유효 펌프 속도  $S_{eff}$ 가 산출됩니다.

$$S_{eff} = \frac{S_0 + L_{Ef}}{S_0 \cdot L_{Ef}} = \frac{A \cdot v}{4 \cdot \left(\frac{v}{\bar{c}} + 1\right)}$$

공식 4-10: 터보 펌프 유효 펌프 속도

예를 들어 맨 위 디스크의 블레이드 진입 표면으로 유효 펌프 속도를 나누고 블레이드 두께로 차단된 영역이 인수  $d_f \approx 0.9$  임을 참작하면 질소에 대한 터보 펌프의 특정 펌프 속도가 산출됩니다(그림 4.23의 곡선).

$$S_A = \frac{S_{eff}}{A} = \frac{d_f \cdot v}{4 \cdot \left(\frac{v}{\bar{c}} + 1\right)}$$

공식 4-11: 특정 펌프 속도

Figure 4.23의 Y 축에서 특정 펌프 속도는  $l \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2}$ 로 나타나고, 평균 블레이드 속도  $v = \pi \cdot f \cdot (R_a + R_i)$ 는 X 축에 표시됩니다. 이 점에서 수직으로 위로 이동하여 곡선과 교차하는 점이 펌프의 최대 특정 펌프 속도  $S_A$ 를 나타냅니다. 이 값에 유입구 디스크의 블레이드 표면 영역  $A = (R_a^2 - R_i^2) \cdot \pi$ 를 곱하면 펌프의 펌프 속도가 나오고, 카탈로그 정보와 비교할 수 있습니다.

그림 4.23에 표시된 점들은 표시된 펌프의 측정 값을 기초로 파이프 배움이 결정된 것입니다. 표시된 곡선보다 훨씬 위에 있는 점들은 물리적으로 가능하지 않습니다.

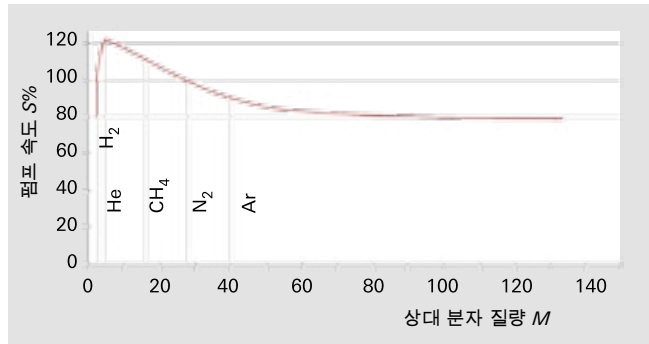


그림 4.24: 상대 분자 질량에 따른 펌프 속도

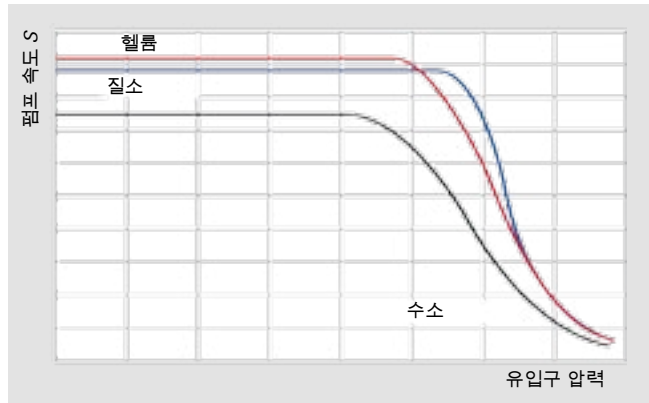


그림 4.25: 유입구 압력에 따른 펌프 속도

펌프 속도는 따라서 가벼운 기체(예: 수소)의 값에 대해 아무 것도 알려주지 않습니다. 낮은 최종 압력을 위한 터보 펌프가 설계될 경우 다양한 블레이드 각도를 가진 펌프 단계가 사용되고 눈금은 수소에 대한 최대 펌프 속도로 최적화됩니다. 이것은 수소(약 1,000)와 질소 둘다에 대한 충분한 압축비를 가진 펌프를 만들어내는데, 이 때 압축비는 공기 중 질소의 높은 분압 때문에  $10^9$ 이 되어야 합니다. 순수한 터보분자 펌프의 경우에 분자 흐름 때문에 약  $10^{-2}$  mbar의 배압 진공 압력이 요구됩니다.

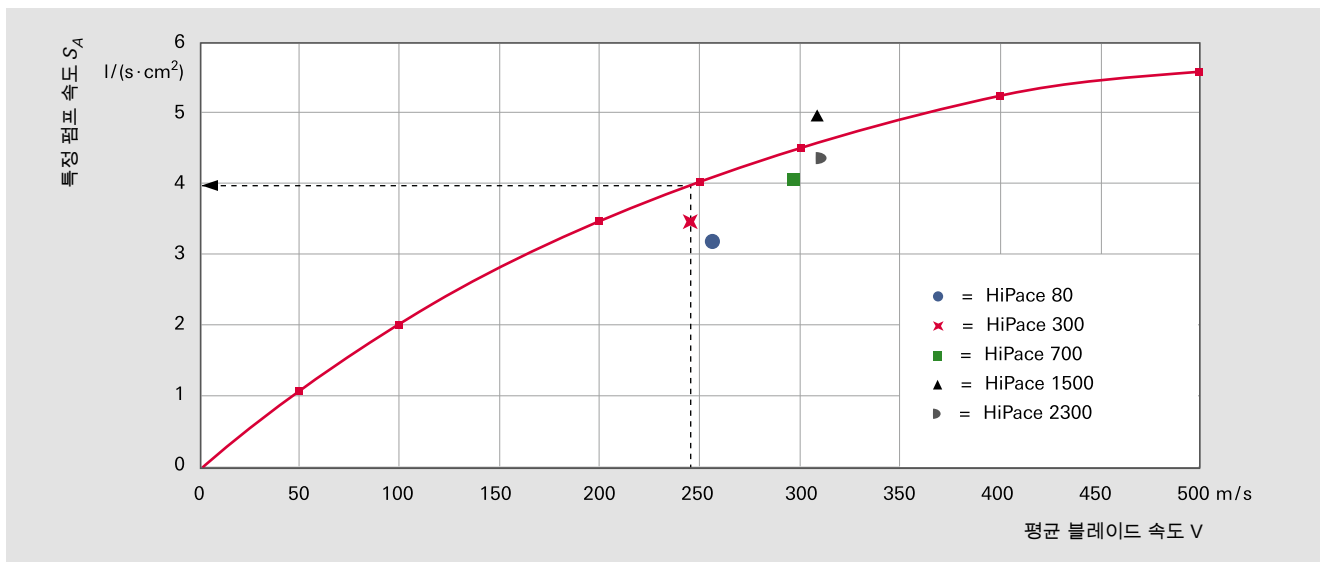


그림 4.23: 특정 터보 펌프 펌프 속도

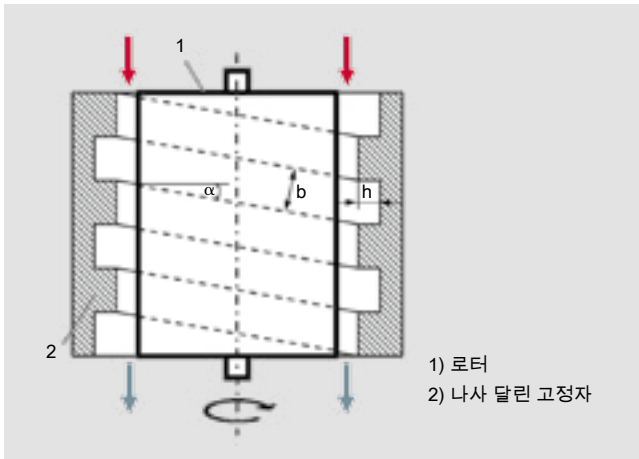


그림 4.26: 홀백 단계의 작동 원리

4.9.1.2 홀백 단계 작동 원리

홀백 단계(Figure 4.26)는 나선 펌프 채널이 있는 다단계 게 데 유형 분자 펌프입니다. 로터의 회전 때문에 펌프 채널에 들어오는 기체 분자들은 채널 방향에서 자극 속도를 받습니 다. 서로로부터 홀백 채널을 분리하는 장벽과 로터 사이의 틈 새에서 역류 손실이 발생합니다. 틈새 폭은 역류를 최소화하 기 위하여 작게 유지되어야 합니다. 고정자(2)에서 나선 채널 을 따라 회전하는 실린더형 슬리브(1)는 홀백 단계에서 사용 됩니다. 로터 내부 뿐만 아니라 외부에 회전자를 배열하면 두 개의 홀백 단계가 한 개이면서 동일한 펌프 내부에서 쉽게 통 합되게 할 수 있습니다. 이것은 변위된 기체 입자가 고정자 채널을 통하여 로터 외부로 전달되고 그런 다음 수집 채널을 통하여 배압 펌프로 다시 전달될 때까지 고정자 채널을 통하 여 내부로 전달됨을 의미합니다. 일부 현대적인 터보 펌프는 이 "주름 잡힌" 홀백 단계를 여러 개 갖고 있습니다.

홀백 단계의 펌프 속도  $S_0$ 는 다음과 같습니다.

$$S_0 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot v \cdot \cos \alpha$$

공식 4-12: 홀백 단계 펌프 속도

여기서  $b \cdot h$ 는 채널 횡단면이고  $v \cdot \cos \alpha$ 는 채널 방향의 속도 구성 성분입니다.

압축비는 채널 길이  $L$ 과 속도  $v \cdot \cos \alpha$ 에 따라 다음과 같이 기하급수적으로 증가합니다[4]:

$$K_0 = \frac{v \cdot \cos \alpha \cdot L}{c \cdot g \cdot h} \text{ with } 1 < g < 3$$

공식 4-13: 홀백 단계 압축비

이 공식으로 산출된 값은 실제 홀백 단계에서는 도달되지 않습니다. 왜냐하면 이웃 채널에서 장벽을 넘어오는 역류가 압축비를 급격히 감소시키는데, 이 영향이 Formel 4-13에서는 고려되지 않기 때문입니다.

최종 압력이 0.5~5 hPa인 격막 펌프로 터보 펌핑 스테이션을 설정하기 위하여 현재는 터보 펌프에 홀백 단계가 장착되어 있습니다. 이런 종류의 펌프들을 터보 드래그 펌프라 부릅니 다. 터보 펌프의 높은 사전 압축으로 인하여 낮은 기본 압력 을 생성하는 데에 낮은 펌프 속도만 요구되기 때문에 변위 채 널과 특히 로터에 대한 이간 거리 뿐만 아니라 채널 높이가 둘 다 매우 작게 유지될 수 있고, 그래서 1 hPa 범위의 분자 흐름을 계속 제공할 수 있습니다. 동시에 이것은  $10^3$ 의 필요 한 인수 만큼 질소에 대한 압축비를 증가시킵니다. 압축비 곡 선을 약 20%의 힘으로 더 높은 압력으로 이동시키는 것을 그 림 4.27에서 볼 수 있습니다.

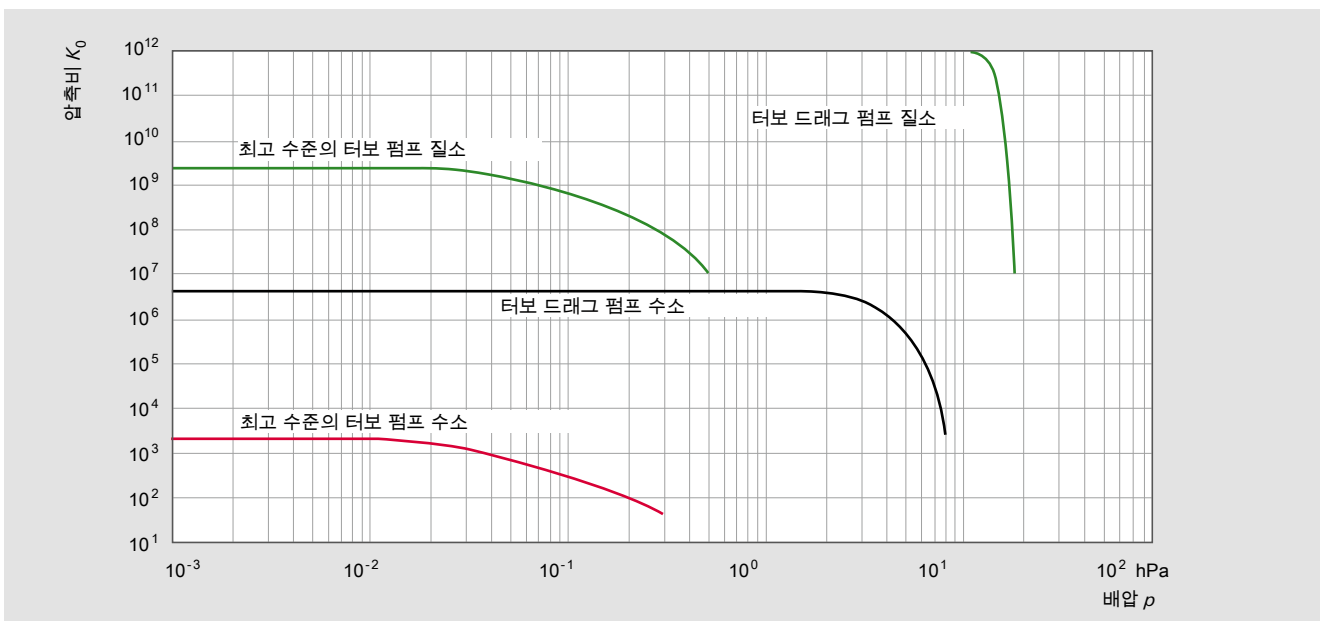


그림 4.27: 순수 터보 펌프 및 터보 드래그 펌프의 압축비

높은 기체 처리량을 위하여 설계된 터보 펌프의 경우에 기체 처리량, 전진공 호환성, 입자 허용치가 고려되고 홀백 단계에서 틸트 사이의 거리가 증가할 경우 절충이 이루어집니다.

#### 4.9.1.3 터보 펌프 성능 데이터

기체 부하

$$\text{기체 부하 } q_{pV} = S \cdot p = \frac{dV}{dt} \cdot p \quad (\text{공식 1-16}),$$

는 터보분자 펌프로 변위될 수 있으므로 일정한 체적 유량을 범위의 압력에 비례하여 증가합니다. 펌프 속도 곡선의 감소 부분에서는 최대 변위 기체 부하가 계속 증가할 수 있지만 배압 펌프의 크기에 따라 온도 상승 제한에 도달합니다. 최대 허용 가능 기체 부하 역시 펌프 온도(냉각 및/또는 가열 펌프)와 해당 기체 유형에 따라 달라집니다. 무거운 주요 기체의 변위는 문제가 있습니다. 왜냐하면 이 기체들은 로터와 접촉할 때 굉장히 많은 양의 소멸된 에너지를 생성하고 그들의 낮은 특정 열 때문에 그 중 오직 소량만 하우징으로 소멸될 수 있기 때문입니다.

제조업체에서 로터 온도를 측정하기 때문에 터보 펌프의 안전한 작동을 위하여 기체 유형 의존 공정 창을 권장할 수 있습니다. 터보 펌프에 대한 기술 데이터는 수소, 헬륨, 질소, 아르곤, CF<sub>4</sub>에 대하여 정상 rpm에서의 최대 허용 가능 기체 부하를 지정합니다. 회전 속도의 감소는 더 높은 기체 처리량을 허용합니다.

펌프 속도가 > 1,000 l · s<sup>-1</sup>인 HiPace 시리즈 펌프는 로터 온도 모니터링이 장착되어 있어서 과열로부터 스스로를 보호합니다.

임계 배압

임계 배압은 펌프의 압력이 감소하는 터보분자 펌프의 배압 진공 측면의 최대 압력을 의미하기 위한 것입니다. 이 값은 ISO 21360-1:2012에 따라 유입구 측면에서 기체 유입 없이

배압을 증가시킴으로써 압축비를 결정하기 위한 측정의 일 부분으로써 결정됩니다. 터보분자 펌프에 대한 기술 데이터에서 최대 임계 배압은 항상 질소에 대해 지정됩니다.

기본 압력, 최종 압력, 잔류 기체

진공 펌프의 경우 최종 압력과 기본 압력이 구분되어 있습니다(4.1.3 섹션 참조). 펌프가 측정 가이드라인에 지정된 조건 하에서 미리 정해진 시간 안에 기본 압력  $p_b$ 에 도달해야 하지만, 최종 압력  $p_e$ 는 더 낮을 수 있습니다. HV 범위에서 기본 압력은 청정 조건 하에서 그리고 금속 밀봉 상태에서 48시간의 베이크 아웃 후에 도달됩니다. 알루미늄 하우징이 있는 펌프에 대한 기본 압력으로 지정된 것은 베이크 아웃 없이 그리고 청정 FKM 실과 함께 도달한 압력입니다.

부식성 기체 버전 펌프는 로터 표면의 코팅으로 인해 일시적으로 더 높은 기본 압력에 도달할 수 있는 탈착률이 더 높습니다.

배압을 압축비로 나누면 최종 압력이 산출됩니다.

$$p_e = \frac{p_v}{K_0}$$

공식 4-14: 최종 압력

최종 압력에 도달하느냐 여부는 베이크 아웃 조건 뿐만 아니라 장비와 펌프의 크기와 청결에 따라 달라집니다. 극단적인 베이크 아웃(300°C 이상) 이후에는 잔류 기체에서 오직 H<sub>2</sub>, CO 및 CO<sub>2</sub>만 발견됩니다. 이 기체들은 수용기의 금속에 용해되어 계속 빠져나갑니다. 깨끗하고 베이크 아웃된 장비의 일반적인 잔류 기체 스펙트럼은 그림 4.28에 나와 있습니다.

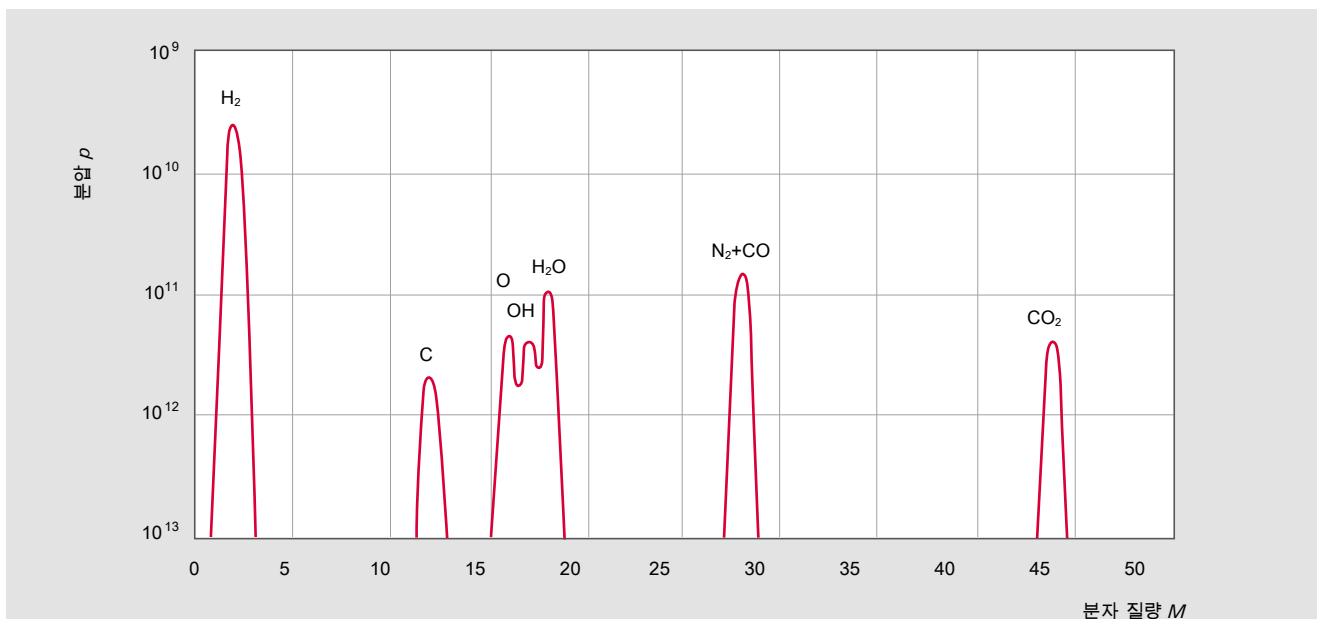


그림 4.28: 일반적인 UHV 잔류 기체 스펙트럼(터보 펌프)

사용되는 배압 펌프에서 전진공 영역에 수소가 축적되는 것을 방지하기 위하여 기체 밸러스트가 일정한 간격으로 켜져야 합니다. 많은 경우 실질적인 최종 압력은 터보 펌프의 높은 진공 측면에서 탈착 조건의 한 인수 및 자체 펌프 속도가 되지 펌프의 압축비가 되지 않습니다.

#### 4.9.2 어플리케이션

##### 청정 진공의 생성

터보 펌프는  $10^{-3}$ ~ $10^{-10}$  hPa 범위의 청정 진공을 생성하는 데에 적합합니다. 높은 압축비 덕분에 터보 펌프는 수송기에서 멀리 떨어진 오일 밀봉 펌프의 유입구 영역으로부터 오일을 안전하게 유지합니다. 스테인레스강 하우징과 CF 플랜지가 있는 모델은 베이크 아웃될 수 있습니다. 그러므로써 이 펌프들은 초고진공의 달성이 요구되는 연구 및 개발 어플리케이션에 이상적으로 적합합니다.

터보 펌프는 배압 펌프로써 회전 날개 펌프를 사용하여 대형 용기를 비우는 데에 사용될 수 있습니다. 터보 드래그 펌프의 경우 2단계 격막 펌프는 배압 펌프로써 충분합니다. 하지만 그들의 낮은 펌프 속도로 인해 더 큰 용기를 펌프 다운하는 데에는 굉장히 오랜 시간이 걸립니다. 이 펌프 조합의 기체 처리량 역시 격막 펌프에 의하여 크게 제한될 수 있습니다. 그러나 이 조합은 건식 펌핑 스테이션에 대해 굉장히 비용 효율적인 솔루션입니다. 이 펌프 조합은 다르게 펌프된 질량 분석기와 다른 분석적 또는 연구 및 개발 어플리케이션에 종종 사용됩니다. 배압 펌프 영역에서 더 높은 펌프 속도가 요구될 경우, 당사는 ACP 시리즈의 다단계 루츠 펌프의 사용을 또는 반도체 또는 태양열 산업에서의 화학적 진공 공정을 위해서는 처리 가능 배압 펌프의 사용을 권장합니다.

배압 펌프와 터보 펌프로 구성된 펌핑 스테이션은 밸브가 필요하지 않습니다. 두 펌프 모두 동시에 켜집니다. 배압 펌프가 필요한 전진공에 도달하지마자 터보 펌프는 자체 정상 속도를 신속히 가열하여 자체의 높은 펌프 속도로 용기 압력을  $p < 10^{-4}$  hPa로 신속히 비웁니다. 짧은 정전은 로터의 높은 회전 속도에 의해 제어될 수 있습니다. 정전이 더 길어질 경우 RPM이 최소 속도 아래로 떨어지면 펌프와 수송기 모두 자동으로 환기될 수 있습니다.

용기 비우기의 효과는 2장에 설명되어 있습니다. 펌프 다운 시간의 계산 뿐만 아니라 치수 측정 문제도 2장에 설명되어 있습니다.

##### 부하 락 챔버 비우기

부하 락 챔버 비우기는 진공 공정에서 취급되어야 할 공작물을 전달할 때 깨끗이 다룰 것을 분명히 요구합니다. 이 항목들이 대기압 상태에서 운반된다면 챔버는 우선 바이패스 라인을 경유하여 사전에 비워져야 합니다. 그런 다음에 작동 중인 터보 펌프가 밸브를 경유하여 배압 펌프와 챔버 사이에 연결됩니다.

##### 분석적 어플리케이션

오늘날 많은 경우에 질량 분석기가 분석기에서 사용됩니다. 유체가 종종 주입되고 진공 시스템의 유입구 챔버에서 증발됩니다. 압력은 몇몇 단계에서 감소하고, 개별 챔버는 구멍에 의해 서로 격리됩니다. 각 챔버가 펌프되어야 하기 때문에 배압 펌프와 터보 펌프의 능숙한 조합을 통하여 터보 펌프의 탭을 경유하여 기체 흐름을 결합하는 것이 목표입니다. 특수하게 수정된 탭이 있는 터보 펌프가 직렬 어플리케이션에 사용됩니다. 4.9.3장에서 설명된 SpitFlow 50 이외에도 고객 지정 솔루션이 공급될 수 있습니다.

헬륨 누출 감지기도 터보 펌프와 함께 장착됩니다. 이 경우에 역류 원리가 종종 사용됩니다(7.2.1장 참조). 예를 들면 질량 분석기가 펌프의 고진공 측면에 위치합니다. 질소 또는 산소보다 헬륨에 대한 터보 펌프의 압축비가 더 낮기 때문에 펌프는 헬륨에 대해 선택적 필터로 작용합니다.

##### 진공 공정에서 기체 부하가 높은 펌프

터보 펌프는 진공 공정에서 높은 기체 부하를 펌핑할 때 두 가지 이점이 있습니다. 터보 펌프는 각 공정 단계의 시작 시 깨끗한 진공을 생성하고, 그런 다음 어떤 해로운 역류 없이 공정 기체를 펌프 다운 할 수 있습니다. 두 번째 단계에서는 주요 목표가 원하는 진공 공정이 작동되는 일정한 압력을 유지하는 것입니다. 이 공정에서 기체 처리량과 작동 압력은 해당 어플리케이션에 의해 결정됩니다. 즉 주어진 체적 유량은 주어진 기체 처리량에서 펌핑됩니다. 또한 공작물을 바꿀 때는 깨끗한 중간 진공에 신속히 도달할 수 있어야 합니다. 이러한 것들이 요구조건과 충돌하기 때문에 요구되는 기체 처리량과 요구되는 중간 진공에 대해 충분한 크기를 가진 터보 펌프가 선택되어야 합니다. 공정 압력은 유입 밸브(예: 버터플라이 밸브)를 경유하여 조절됩니다. 이런 종류의 펌핑 스테이션을 측정하는 방법의 예는 2장에 나와 있습니다. 기술 데이터에 지정된 최대 허용 가능 기체 부하는 허용 가능 연속 부하를 의미하기 위한 것입니다. 이것은 사양에 따른 충분한 냉각의 확인과 그에 따라 최대 임계 배압 아래로 조정된 배압을 조건으로 적용됩니다.

##### 부식성 마모성 물질

부식성 기체를 펌핑할 때는 모터/베어링 영역과 특히 부식에 반하여 로터를 보호하기 위한 조치가 취해져야 합니다. 그러기 위해 부식성 기체와 접촉하는 모든 표면은 코팅이 제공되거나 아니면 이런 기체에 의한 공격을 견딜 수 있는 물질로 만들어집니다. 제한된 불활성 기체 흐름이 특수 밀봉 기체 밸브를 경유하여 전진공의 모터/베어링 영역으로 유입됩니다. 거기에서 래비린드 실에서 전진공 영역까지 기체 흐름이 부식성 기체와 혼합되고, 배압 펌프에 의해 부식성 기체와 함께 펌프 다운됩니다. 벨 모양 로터(예: ATH M 시리즈)가 있는 펌프의 경우, 홀백 단계의 내부 측면에 있는 밀봉 기체가 대류 냉각으로 작용하여 온도를 낮춤으로써 사용 가능한 공정 창을 증가시킬 수도 있습니다. 비부식성이지만 먼지를 내뿜는 공정에서도 밀봉 기체는 베어링 및 모터 영역에 대한 효과적인 보호입니다.



터보 로터 블레이드는 기계적으로 마모될 수 있고 먼지가 쌓일 수 있습니다. 따라서 로터의 수리 및 교체가 필요합니다. 펌프 내에 퇴적물이 형성되어 서비스 간격을 줄일 수 있다는 점을 주의해야 합니다. 특히 펌프 내 퇴적물은 습기가 있는 공격적인 물질에 반응하지 않는다는 점을 확인할 필요가 있습니다. 결과적으로 펌프는 건식 불활성 기체만을 사용해서 환기되어야 하고, 정비가 필요할 때는 밀봉 진공 및 고진공 플랜지가 장착되어야 합니다. 이런 어플리케이션을 위한 터보 펌프는 홀백 단계가 없는 클래식한 터보 펌프거나 임계 배압과 입자 허용치 사이에서 절충한 홀백 단계가 있는 터보 펌프입니다. 로터의 폐색을 이끄는 홀백 단계의 먼지 퇴적물은 홀백 단계의 로터와 고정자 사이의 틈새를 넓히면 감소할 수 있습니다. 예를 들어 ATH M 시리즈 터보 펌프에서는 입자가 함유된 스퍼터 어플리케이션에서 장기간 작동한 후에 진공 플랜지 근처의 수집 채널에서 비접촉 먼지가 자주 관찰됩니다. 홀백 단계는 여전히 깨끗하고 펌프는 작동이 잘 됩니다.

**4.9.3 포트폴리오 개요**

터보분자 펌프의 선두 제조업체인 파이프 베콤의 포트폴리오는 기계적 베어링과 활성 자기 부상 범위입니다. 사용자들은 당사의 포트폴리오에서 최소 진동 또는 추가 탭(Split-Flow)이 있는 펌프 뿐만 아니라 높은 기체 처리량 또는 낮은 최종 압력을 위하여 설계된 모델을 보게 됩니다.

**4.9.3.1 기계적 베어링 터보 펌프**

진공 측면에 오일 윤활 볼 베어링과 고진공 측면에 영구 자기 베어링이 있는 HiPace® 터보 펌프의 경우, 다음과 같은 터보 펌프 시리즈로 구분되어 있습니다.

- ISO-K 플랜지가 있는 HiPace®: 표준 어플리케이션에서 고진공을 생성하기 위한 홀백 단계가 있는 HiPace 터보 드래그 펌프
- CF 플랜지가 있는 HiPace®: 초고진공을 생성하기 위한 홀백 단계가 있는 HiPace 터보 드래그 펌프



그림 4.29: 표준 HiPace 터보 펌프

- HiPace® Plus: 자기 표류 자계가 축소되었고 진동 수준이 너무 낮은 홀백 단계가 있는 HiPace 터보 드래그 펌프
- HiPace® P: 먼지가 함유된 어플리케이션을 위한 클래식한 터보 펌프
- HiPace® C: 부식성 기체 어플리케이션을 위한 코팅 및 밀봉 기체 시스템이 있는 터보 펌프

표 4.21에는 하이브리드 베어링이 있는 표준 펌프의 특성이 나와 있습니다. 다른 모든 시리즈는 이런 표준 모델의 변형이므로 특성이 동일합니다.

ISO-K 플랜지가 있는 표준 펌프의 기본 압력은  $p_b < 1 \cdot 10^{-7}$  hPa입니다. 베이크 아웃 이후에 CF 플랜지가 있는 펌프는  $p_b < 5 \cdot 10^{-10}$  hPa의 기본 압력에 도달합니다.

HiPace 터보분자 펌프				
모델	펌프 속도	압축비	기체 처리량*	어플리케이션
HiPace 10	11.5 l · s <sup>-1</sup>	3.0 · 10 <sup>7</sup>	0.37 hPa · l · s <sup>-1</sup>	분석적 어플리케이션, 누출 감지기, 기체 흐름 제어 시스템, 백영등 및 형광등 제조
SplitFlow 50	53 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>8</sup>	1.8 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
HiPace 60 P	64 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>6</sup>	9.2 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
HiPace 80	67 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>11</sup>	1.3 hPa · l · s <sup>-1</sup>	분석적 어플리케이션, 연구 및 개발, 코팅, 반도체 제조
HiPace 300	260 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>11</sup>	5.0 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
HiPace 400	355 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>11</sup>	6.5 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
HiPace 700	685 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>11</sup>	6.5 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
HiPace 800	790 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>11</sup>	6.5 hPa · l · s <sup>-1</sup>	유리 코팅, 태양전지 제조, 표면 마감, CVD, PVD/스퍼터링, 이온 주입, 플라즈마 물리학, 공간 시뮬레이션
HiPace 1200	1,250 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>8</sup>	20 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
HiPace 1500	1,450 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>8</sup>	20 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
HiPace 1800	1,450 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>8</sup>	20 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
HiPace 2300	1,900 l · s <sup>-1</sup>	> 1.0 · 10 <sup>8</sup>	20 hPa · l · s <sup>-1</sup>	

\*) 기체 처리량은 구동에 따라 달라집니다.

표 4.21: 질소에 대한 HiPace®의 선택된 성능 데이터

### 4.9.3.2 활성 자기 부상 터보 펌프

표 4.22에는 활성 5-축 자기 부상 베어링이 있는 터보 펌프의 특성이 나와 있습니다.

이 펌프들 역시 다음과 같이 사용 가능합니다.

- ISO-K 또는 ISO-F 플랜지가 있는 HiPace® M: 표준 어플리케이션에서 고진공을 생성하기 위한 홀백 단계가 있는 HiPace 터보 드래그 펌프
- CF 플랜지가 있는 HiPace® M: 초고진공을 생성하기 위한 홀백 단계가 있는 HiPace 터보 드래그 펌프
- ATP M: 가벼운 기체에 대한 압축비가 높고 입자 허용치가 높은 홀백 단계가 없는 클래식한 터보 펌프
- ATH M 및 MT: 부식성 기체 어플리케이션을 위한 홀백 단계, 밀봉 기체 시스템, 가열이 있는 터보 드래그 펌프

### 4.9.3.3 드라이브 및 부속품

서로 다른 어플리케이션에서 터보 펌프를 작동하는 데에는 확장 부품 뿐만 아니라 다양한 제어, 디스플레이, 드라이브를 사용 가능합니다.

아래에 사용된 번호 지정은 그림 4.31에 기초한 것입니다.

터보 펌프(1a)에는 일반적으로 부착된 드라이브(1b)가 장착됩니다. 예를 들어 직류 전원 공급은 디스플레이 제어 유닛(2b)이 있는 플러그인 전원 공급 모듈(2a)에서 공급됩니다. 내장 전원 공급 유닛도 사용 가능합니다. USB 변환기(5b)도 프로그래밍 및 스위칭 기능을 실행하거나 상태 디스플레이를 전송하기 위하여 PC(5a)를 RS-485 인터페이스에 연결하기 위해 사용될 수 있습니다. Profibus DP 및 DeviceNet 변환기를 사용하면 펌프를 시스템 제어기에 연결할 수 있습니다. 주요 스위칭 기능은 외부 신호를 사용하여 원격 제어 플러그를 경유하여 실행될 수도 있습니다. 또한 일부 상태 디스플레이는 계전기 출력에서 실행될 수 있습니다.

작동 장치 이외에도 특수 어플리케이션을 위하여 다양한 부속품이 사용 가능합니다.

터보 펌프의 정보 뿐만 아니라 압력을 표시하기 위하여 일부 DCU 전원 공급 유닛을 사용하여 진공 측정기에 연결할 수 있습니다.



그림 4.30: ATH M 자기 부상 터보 펌프

DCU 전원 공급(2a)은 배압 펌프 계전기 박스(6)의 도움을 받아 터보 펌프(1a)와 배압 펌프에서 동시에 켤 수 있는 펌핑 스테이션 제어기로 전환될 수 있습니다.

펌프를 냉각하기 위해서는 높은 기체 부하를 위한 팬(4)이든 수냉(3)이든 부착될 수 있습니다.

전기 환기 밸브(8)는 RPM이 주어진 속도 아래로 떨어질 경우 터보 펌프를 환기합니다. 짧은 정전인 경우엔 진공을 유지하기 위하여 환기 밸브가 닫힘 상태를 유지합니다. 그런 다음에 본선 전압이 복구되면 펌핑 스테이션이 즉시 재시작합니다. 그러나 이렇게 되면 정전될 경우 자동으로 닫히는 안전 밸브가 있는 배압 펌프가 필요합니다.

UHV 어플리케이션의 경우, 사전 선택된 회전 속도에 도달한 후에 자동으로 켜지고, rpm이 감소하면 꺼지는 펌프에 히터(9)가 연결될 수 있습니다.

자기 부상 터보 펌프				
모델	펌프 속도	압축비	기체 처리량*	어플리케이션
HiPace 300 M	255 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>11</sup>	28 hPa · l · s <sup>-1</sup>	분석, 코팅, R&D
ATH 500 M / MT	520 l · s <sup>-1</sup>	> 2 · 10 <sup>7</sup>	67 hPa · l · s <sup>-1</sup>	반도체, 코팅, R&D
HiPace 700 M	685 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>11</sup>	13 hPa · l · s <sup>-1</sup>	분석, 코팅, R&D
HiPace 800 M	790 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>11</sup>	13 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATH 1603 M	1,370 l · s <sup>-1</sup>	> 6 · 10 <sup>8</sup>	67 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATH 1600 MT	1,370 l · s <sup>-1</sup>	> 5 · 10 <sup>8</sup>	67 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATH 2303 M	1,950 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>8</sup>	67 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATH 2300 MT	1,950 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>8</sup>	67 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATP 2300 M	1,850 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>8</sup>	37 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATH 2800 M	2,150 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>8</sup>	84 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATH 2800 MT	2,150 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>8</sup>	84 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATH 3200 M	2,700 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>8</sup>	84 hPa · l · s <sup>-1</sup>	
ATH 3200 MT	2,700 l · s <sup>-1</sup>	> 1 · 10 <sup>8</sup>	84 hPa · l · s <sup>-1</sup>	반도체, 코팅, R&D: 유리 코팅, 태양전지 제조, 표면 마감, CVD, PVD/스퍼터링, 이온 주입, 플라즈마 물리학

\*) 기체 처리량은 구동에 따라 달라집니다.

표 4.22: 질소에 대한 자기 베어링 터보 펌프의 성능 데이터



1a) 터보 펌프

1b) TC 400 드라이브

2a) DCU 전원 공급

2b) DCU 002

3) 수냉

4) 공랭

5a) PC

5b) USB 변환기

6) 배압 펌프 계전기 박스

7a) 밀봉 기체 스토폴

7b) 밀봉 기체 밸브

8) 환기 밸브

9) 히터

그림 4.31: 터보 펌프 부속품의 예(HiPace 300용)

밀봉 기체 스토폴(7a)뿐만 아니라 대응하는 처리량을 가진 다양한 크기의 전자기 밀봉 기체 밸브(7b)가 부식성 기체 펌프에 사용 가능합니다.

자세한 내용은 당사의 제품 카탈로그의 3.1장 터보 펌프를 참조하십시오.

## 5.1 전체 압력 측정의 기초

압력은 다음과 같이 단위 면적 당 힘으로 정의됩니다.  $p = F/A$  (공식 1-3), 이때  $F$ 는 힘이고  $A$ 는 힘이 적용되는 면적. 압력 단위 SI는  $1 \text{ N} / \text{m}^2 = 1 \text{ Pa}$ 입니다. 다른 주파수 사용 압력 단위는 다음과 같습니다.  $1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$  및  $1 \text{ Torr} = 133,322 \text{ Pa}$ . 어떤 면적에 행사되는 힘을 경유하여 압력을 측정할 경우, 압력 측정은 기체의 유형에 의존합니다. 진공 기술에서 일반적으로 사용되는 모든 압력 단위를 변환하는 도구는 스마트폰용 파이퍼 베콤 앱에서 찾을 수 있습니다([www.pfeiffer-vacuum.com](http://www.pfeiffer-vacuum.com)을 방문하십시오).

힘에 기초한 압력 측정은  $1 \text{ hPa}$  미만의 압력에서 한계에 도달합니다. 왜냐하면 행사된 힘이 너무 작아지기 때문입니다. 결과적으로 다른 공정이 사용되어야 합니다. 예를 들면 에워싸인 기체의 열 전도성이 사용될 수 있거나, 기체 분자가 이온화될 수 있거나, 전극 사이의 이온 전류 흐름이 측정될 수 있습니다. 기체 속성으로부터 압력을 결정하는 이 간접적인 측정은 결과적으로 기체의 유형에 따라 달라지는 측정 결과를 전달합니다.

진공 기술에서 단일 측정 방법으로는 결코 전체 압력 범위를 포괄할 수 없습니다. 따라서 다른 센서를 사용할 필요가 있습니다. 압력 센서를 선택하는 기준은 다음과 같은 다양한 조건에 기초합니다.

- 감지될 압력 범위
- 기체 구성: 불활성 또는 부식성
- 요구되는 정확성과 반복성
- 방사능과 같은 환경적 조건

### 5.1.1 직접적, 기체 비의존 압력 측정

격막 진공 측정기의 경우, 압력은 정의에 따라 측정됩니다. 압력  $p$ 는 제한된 면적  $A$ 를 가진 격막에 행사되어 격막을 압력에 비례하게 변형합니다. 센서는 편향을 측정합니다. 가장 단순한 경우, 편향은 압력 다이얼 위에서 움직이는 바늘에 기계적으로 전달됩니다. Piezo-저항 또는 용량성 센서는 압력 신호를 받아 전기 신호로 변환합니다.

### Piezo-격막 진공 측정기

간단하고 매우 강력한 방법에 piezo-저항 픽업이 포함됩니다. 설계는 Figure 5.1에 나와 있습니다. 변형 저항이 확산된 격막은 기준압력  $p_0$ 를 가진 배기 부피 위에 배열됩니다. 격막 편향의 결과로 측정된 저항의 변화는 압력에 대한 매개변수로 사용됩니다. 이 센서는 기체 유입에 대한 둔감성과 높은 정확성이 특징입니다.

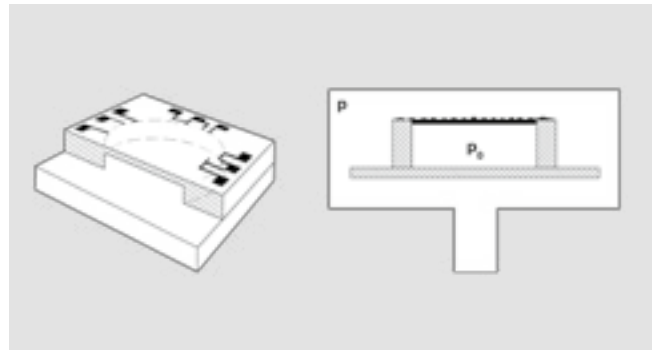


그림 5.1: 격막 진공 측정기의 설계

### 용량성 격막 진공 측정기

용량성 진공 측정기(그림 3.2)에서, 격막의 편향은 격막에 의해 형성되는 평행판 콘덴서와 압력  $p_0$ 를 가진 잘 비워진 공간의 고정된 상대 전극의 용량 변화로 측정됩니다. 격막은 진공 금속화 코팅된 세라믹이 아니면 스테인레스강으로 구성됩니다. 변화하는 감도에 대한 이런 방식의 격막은 각각 4디케이드의 측정을 수행하는 데에 사용될 수 있습니다. 더 낮은 측정 한계는  $10^{-5} \text{ hPa}$ 입니다.

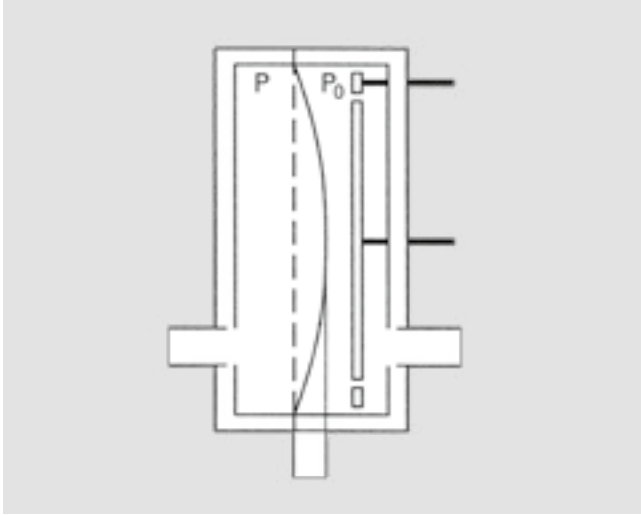


그림 5.2: 용량성 격막 진공 측정기의 설계

제한 효과는 다음과 같습니다.

- 온도의 영향으로 인한 콘덴서 판 사이의 이간 거리의 변화
- 저온에서 격막에 작용하는 감소된 힘

온도의 영향은 알려진 온도 드리프트의 전자 보상을 통하여 또는 일정한 온도에서 센서를 유지하는 통합된 히터에 의하여 최소화될 수 있습니다. 온도의 영향은 세라믹 격막 재료의 사용을 통하여 더 줄어 들 수 있습니다. 또한 세라믹 격막은 용량성 진공 측정기에 부식성 기체에 대한 탁월한 저항을 부여합니다.

#### 회전 로터 측정기

기체 마찰 측정기라 불리는 회전 로터 측정기(SRG)는 보정 목적으로 사용됩니다. 구체가 진공 상태에서 자기적으로 머물면서 빠른 회전을 하는데, 이 지점에서 구동은 비가압 상태가 됩니다. 남아 있는 기체 유형의 압력은 기체 마찰로 인한 회전 주파수의 감소로 계산될 수 있습니다. 분자 흐름 범위에서 이 장비들은 최대  $p > 10^{-7}$  hPa까지의 압력을 측정합니다. 장비의 보정은 구체에만 의존하는데, 이는 계산된 구체가 전달 표준기로 사용될 수 있음을 의미합니다. 이 진공 측정기들은 측정 공정에 소요되는 시간이 압력이 감소함에 따라 증가하기 때문에 진공 공정에 적합하지 않습니다.

#### 5.1.2 간접적, 기체 의존 압력 측정

압력이 감소함에 따라 격막에 작용하는 감소된 힘을 측정하기 위하여 기기 장치의 양이 증가합니다. 기체 특성을 측정함으로써 간접적으로 압력 정보를 전달하는 다른 측정 원칙들은 중간 진공 범위에 대한 진공 측정기의 설계를 비교적 쉽게 만듭니다. 압력을 정의함으로써 작동하는 진공 측정기는 멤브레인에 작용하는 힘이 충분하지 않기 때문에 고진공 및 초고진공에서 실현 가능하지 않습니다.

진공 상태에서 간접적인 압력 측정을 고려할 때는 입자 수밀도를 시작점으로 삼는 것이 좋습니다. 이상적인 기체에 적용되는 상태 방정식에 따르면,  $p = n \cdot k \cdot T$  (공식 1-8)은 일정한 온도에서 압력에 비례합니다. 압력 측정을 위하여 진공 기술에서 사용되는 두 개의 현상은 압력 측정기의 측정 영역에 포함된 기체를 통한 열과 전기의 전도입니다. 각 기체 입자는 전도도에 관여하고, 따라서 밀도와 그 결과로써 압력이 전도

에 일정한 영향을 미친다고 생각하기가 쉽습니다. 기체의 원자나 분자는 속성이 다르고 특별한 질량을 가지므로, 이온 전도도 현상에 기초한 압력 측정은 기체의 유형 따라 달라지는 판독을 제공합니다.

#### Pirani(열 전달) 진공 측정기

Pirani 진공 측정기는 약 10~100 hPa 미만의 압력 p에서 기체의 열 전도성을 사용합니다. 튜브 내에서 동심으로 인장되어 있는 와이어(보통 텅스텐)는 와이어를 통하여 전류를 통과시킴으로써 110°C~130°C의 일정한 온도에서 전기적으로 가열됩니다. 주변 기체는 튜브의 벽에 열을 발산합니다. 분자 흐름 범위에서 열 전달은 분자 수밀도와 따라서 압력에 비례합니다. 와이어의 온도가 일정하게 유지될 경우 열 출력은 압력과 관계가 있습니다. 그러나 이것은 압력의 선형 기능이 아닙니다. 왜냐하면 와이어의 서스펜션과 열 방사를 경유한 열 전도성은 열 출력에 영향을 주지 않기 때문입니다.

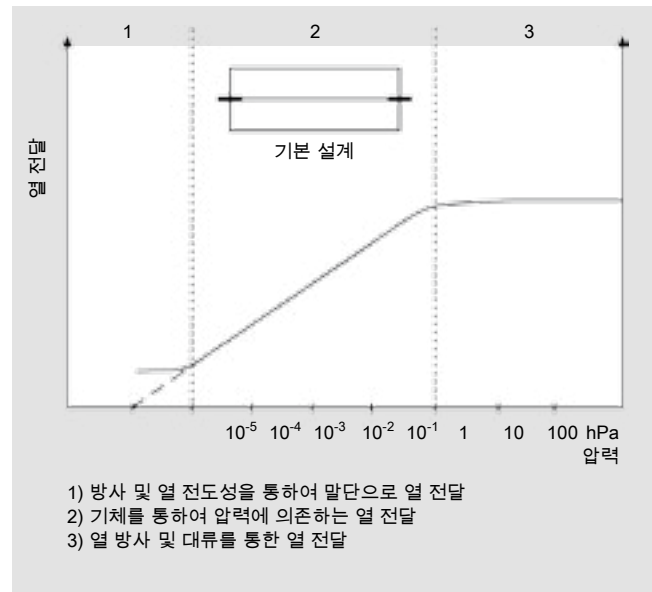


그림 5.3: Pirani 진공 측정기의 작동 원리.

제한 효과는 다음과 같습니다.

- 열 전도성은 대기압에서 약 10 hPa의 (충류 흐름 범위) 범위의 압력과 관계가 없습니다(한계는 기체의 유형에 따라 달라집니다).
- 기체의 열 전도성은  $10^{-4}$  hPa 이하의 압력에서 와이어 말단의 열 전달보다 비교적 낮고, 따라서 와이어의 열 출력에 더 이상 영향을 주지 않습니다. 결과적으로 측정 한계는 약  $10^{-4}$  hPa입니다.
- 열 방사 역시 튜브의 벽에 열 출력의 일부를 전달합니다. 그림 5.4는  $10^{-4}$  hPa와 대기압 사이에 존재하는 다양한 기체들의 서로 다른 곡선을 보여줍니다. 질소와 공기에 대해서는 양호한 선형성을 볼 수 있지만 가벼운 기체(헬륨)와 무거운 기체(아르곤)에 대해서는 상당한 편차가 나타납니다. Pirani 진공 측정기의 경우, 측정된 기체에 대해 정확한 압력으로 지시되는 질소 상당 압력을 변환하기 위한 보정 계수가 작동 매뉴얼에 제시되어 있습니다. 이 계수는 정확한 변환 압력을 자동으로 지시하는 제어 및 디스플레이 장치에 입력될 수 있습니다. 이런 정정은 그림 5.4에 나와 있는 특성 곡선의 선형 부분에만 적용됩니다.

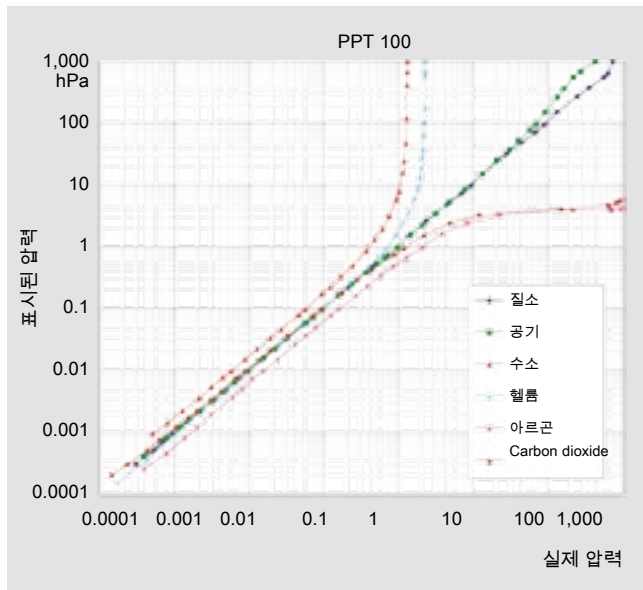


그림 5.4: Pirani 진공 측정기 곡선

**저온 음극 이온화 진공 측정기**

저온 음극 이온화 진공 측정기는 원래 두 개의 전극, 한 개의 음극, 한 개의 양극으로 구성되어 있고, 이것들 사이에 직렬 저항기를 경유하여 고전압이 적용됩니다. 음전하를 띤 전자는 전계 방출을 통하여 음극을 남기고, 음극에서 높은 속도로 양극으로 이동합니다. 전자는 이 경로로 이동하면서 중성 기체 분자를 이온화하는데, 이는 기체 방전을 이끕니다. 측정된 기체 방전 전류(그림 5.5)는 압력에 대한 대개변수입니다. 하지만 곧은 전자 궤적의 경우 극소수의 분자만 이온화되며, 이는 약 1 hPa에서 기체 방전의 더 낮은 감도와 중단으로 이어집니다. 이런 단점을 피하는 설계가 Hobson과 Redhead의 전도된 마그네트론입니다[28]. 금속 핀(양극)은 회전 대칭 측정실(음극, 그림 5.5)로 둘러싸입니다. 챔버 내에서 자기장을 생성하기 위하여 축 방향으로 자기화된 실린더형 영구 자석 링이 측정실 외부에 설치됩니다.

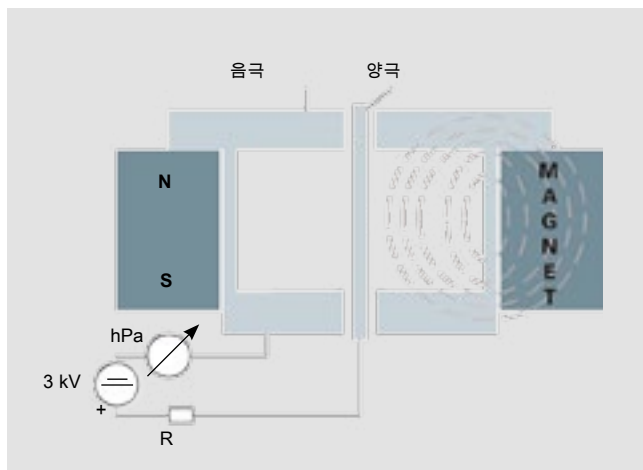


그림 5.5: 전도된 마그네트론의 설계

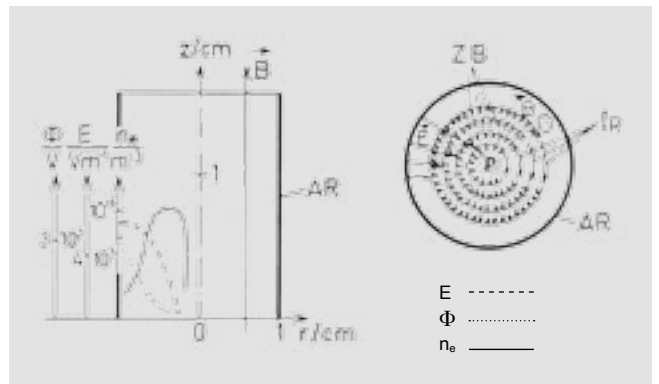


그림 5.6: 전도된 마그네트론의 작동 원리

전자는 자기장을 통과하여 나선형 궤적으로 이동합니다(그림 5.6). 이런 식으로 확장된 전자 경로는 기체 분자와의 충돌 가능성을 높이고, 1 hPa 미만의 압력에서도 기체 방전을 유지하기 위하여 충분한 이온이 생성되도록 합니다. 압력 판독은 다양한 기체의 서로 다른 이온화 가능성으로 인하여 해당 기체 유형에 따라 달라집니다. 예를 들면 헬륨의 경우 공기보다 더 낮은 압력이 표시됩니다.

저온 음극 진공 측정기는 다음과 같은 조건에서 쉽게 오염될 수 있습니다.

- 장비가 0.1 hPa 이상의 압력  $p$ 에서 활성화될 경우
- 측정기가 중간 진공 범위의 아르곤 대기에서 정기적으로 사용될 경우. 아르곤이 스퍼터링 시스템에서 종종 어플리케이션으로 사용됩니다. 이것은 이온 충격으로 인한 음극의 스퍼터링을 유발하고, 그 결과 단락과 측정기의 장애를 일으킬 수 있습니다.
- 탄화수소를 함유한 잔류 기체 대기에서 작동될 경우

기체 역시 음극 표면에 게터됩니다. 이것은 측정 신호를 위조하는 펌핑 효과를 낳습니다.

진공 시스템에 측정기를 설치할 경우엔 자기장을 고려해야 합니다. 왜냐하면 자기장은 특히 전자 또는 이온 광학을 사용할 경우 예민한 장비를 방해할 수 있기 때문입니다.

**고온 음극 이온화 진공 측정기**

이 경우에 전자는 가열된 음극의 도움으로 생성됩니다. Figure 5.7은 Bayard-Alpert 측정기의 설계를 보여줍니다[27]. 가느다란 와이어가 실린더형 격자 모양 양극의 중앙에 배열됩니다. 이 와이어는 이온 수집기로 사용됩니다. 약 100V의 전압이 양극과 음극 사이에 적용됩니다. 이것은 양극으로 방출된 모든 전자를 가속합니다. 방출 전류는 양극 회로에서 측정되는데, 이는 음극의 열 출력에 의해 설정될 수 있습니다. 전자는 양극으로 가는 도중에 기체 분자들과 충돌합니다. 이온은 수집기로 이동하여 양극과 동일한 전위가 됩니다.

진공 측정 장비

측정된 컬렉터 전류는 압력에 대한 매개변수입니다. 방출 전류는 이온 전류에 비례하기 때문에 측정기의 감도를 설정하기 위하여 사용될 수 있습니다.

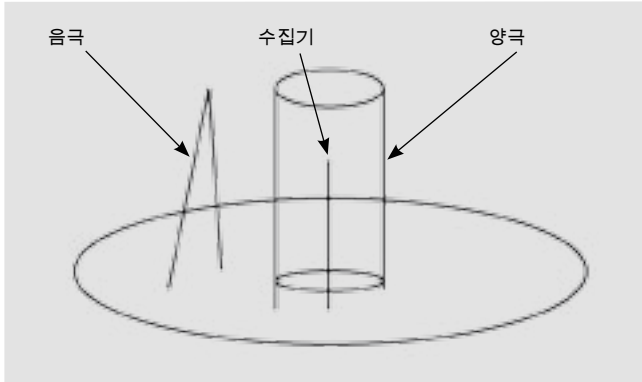


그림 5.7: Bayard-Alpert 진공 측정기의 설계

압력은 Bayard-Alpert 진공 측정기를 사용하여  $1 \cdot 10^{-10}$  hPa 까지 정확히 측정될 수 있습니다. 측정 에러는 다음 두 가지 제한 효과로부터 뿐만 아니라 센서의 펌핑 효과로부터 일어납니다.

- **엑스레이 제동 복사:** 양극 케이지에 부딪치는 전자는 엑스레이를 방출시키는데, 이것들 중 일부가 수집기에 부딪칩니다. 이 엑스레이 효과로 인해 수집기는 양극으로 흘러 나가는 광전자를 방출합니다. 결과적으로 광전 전류가 증가하여 압력에 의존하는 수집기 컬렉터 전류를 위조합니다. 결과적으로 수집기 와이어는 극소량의 엑스레이 방사만 수집하도록 가능한 한 가는 것으로 선택되어야 합니다. 따라서 더 낮은 측정 한계가 엑스레이 한계로 알려져 있습니다.
- **ESD 이온:** ESD(전자 자극 탈착)는 다른 케이지에 퇴적된 기체 분자들이 전자에 의하여 탈착되고 이온화됨을 의미합니다. 이 이온들 역시 압력에 비례하는 이온 전류를 증가시킵니다.

열음극 진공 측정기 역시 기체 유형에 의존하는 압력 신호를 줍니다. 그러나 측정 결과는 저온 음극 이온화 진공 측정기로 얻어진 결과(보통  $\pm 25\%$ )보다 훨씬 더 정확합니다(보통  $\pm 10\%$ ). Bayard-Alpert 진공 측정기는 따라서 종종 보정의 기준으로 사용됩니다.

## 5.2 어플리케이션 주의사항

진공 측정기의 선택 및 설치 시 다음과 같은 속성과 진공 측정의 독특한 요소들이 고려되어야 합니다

- 진공실에서의 잠재적인 압력 경도 발생으로 인한 설치 위치의 적절한 선택
- 표면 및 밀봉재가 탈기체를 보여줍니다. 진공 측정기는 따라서 진공실 내부보다 더 높은 압력을 표시할 수 있습니다. 연결 플랜지는 따라서 가능한 한 짧아야 하고, 실 수는 최소로 감소되어야 합니다.
- 이온화 진공 측정기는 펌핑 효과를 가질 수 있고 그 결과 진공실의 실제 압력보다 더 낮은 압력을 표시할 수 있습니다.
- 저온 음극 측정기는 중간 진공 범위에서 아르곤과 같은 무거운 기체와 함께 작동될 경우 특별히 생성되는 내재된 스퍼터 효과를 갖습니다. 이것은 일관성 없고 부정확한 판독을 이끌 수 있습니다.
- 탄화수소가 존재할 경우 이온화 측정기는 유기 분자의 분해 제품들과 함께 오염됩니다. 스퍼터 효과와 같은 방식으로 판독이 왜곡되거나 일관성이 없을 수 있습니다.
- 위에서 설명한 현상들로 인한 오염을 피하기 위하여 이온화 측정기의 전환점이 선택되어야 합니다.
- 강력한 자기장과 전기장은 진공 측정기의 기능을 손상시킬 수 있습니다. 이것은 특히 이온화 측정기에 적용됩니다.
- 초고진공이 생성될 수 있기 위해서는 진공 측정기를 포함하여 진공 장비가 베이크 아웃되어야 합니다. 기술 데이터에 명시된 최대 베이크 아웃 온도와 조건이 부합되어야 합니다.

저온 음극 측정기는 오염될 경우 쉽게 분해 청소될 수 있습니다. 다른 측정 원칙을 적용하면 대체로 센서 교체가 가능합니다. 진공 측정기는 어느 정도의 마모 및 오염의 영향을 받을 수 있고 따라서 가능하면 자주 교체될 필요가 있음을 항상 명심해야 합니다. 광범위한 작동 조건은 교체 간격에 대한 일반 권장사항을 불가능하게 만듭니다.

### 5.2.1 측정 범위

순수하게 기계적인 다이얼 측정기(스프링 압력 또는 Bourdon 튜브 나노미터)는 1,000 - 1 hPa 압력 범위에서부터 사용됩니다. 하지만 이 게이지들은 오직 제한된 정확성만 제공하며 설치 시에만 직접 판독될 수 있습니다. 격막 진공 측정기(piezo 센서 또는 용량성 센서)는 더 정확한 측정을 얻기 위하여 그리고 판독의 원격 디스플레이를 위하여 사용됩니다.

Pirani 열전도성 진공 측정기는 10 hPa~ $10^{-4}$  hPa에서 사용됩니다.  $p < 10^{-2}$  hPa 압력에서는 특수 "고압" 열음극 이온화 진공 측정기의 사용도 가능합니다.

각각의 저온 음극 이온화 진공 측정기 또는 Bayard-Alpert 이온화 진공 측정기는  $10^{-3}$  hPa 미만의 압력에서 사용되며, 후자는 깨끗한 조건 및 엄격한 정확성 요구조건의 경우에 사용됩니다. 전체 압력 범위를 사용하기 위하여 두 개 이상의 센서를 조합하여 사용하는 것도 좋은 생각입니다.

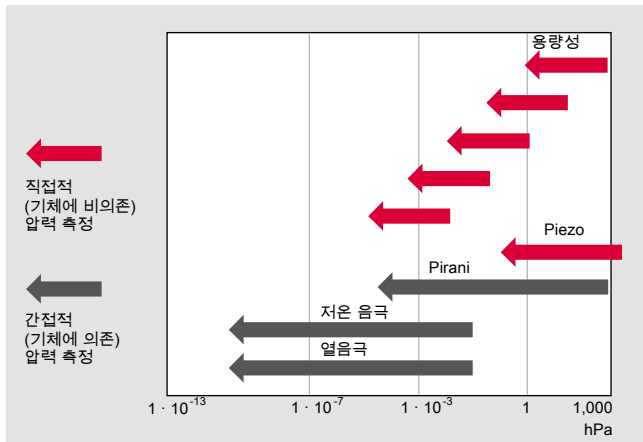


그림 5.8: 압력 측정 범위와 측정 원칙

격막 진공 측정기와 Pirani 진공 측정기의 경우, 압력이 충분히 낮을 경우에만 이온화 진공 측정기를 활성화시키기 위하여 압력 스위치점이 생성되어 가열된 음극의 오염 또는 단선으로부터 보호합니다. 결과적으로 당사는 자동 전환 조합 센서를 공급하며, 이는 아래에 설명됩니다.

### 5.2.2 액티브 진공 측정기

액티브 진공 측정기는 센서 자체를 조합하고, 센서는 소형 전자 제어 및 평가 유닛을 사용하여 기계적 규모 압력을 전기적 규모로 변형시킵니다. 이 측정기는 아날로그 측정 신호(0 - 10 V)의 형태로 측정된 압력을 표시하거나 아니면 표준화된 디지털 인터페이스를 통한 수치 값을 표시합니다. 이 측정기는 직류 전압(보통 24V)으로 전원이 공급됩니다. 측정된 값을 표시하는 전원 유닛은 액티브 진공 측정기에서도 사용할 수 있습니다.

설계	지정
케이블에 의하여 요구되는 전자 전원 공급 및 평가 유닛에 연결된 진공 센서; 센서와 전자 유닛 사이에 있는 센서 지정 신호 및 공급 라인	진공 측정기 패시브 진공 측정기 센서
하우징에 통합된 진공 센서와 전자 유닛, 표준화된 공급 전압을 가진 전원 공급(보통 24 V DC); 아날로그 출력 신호(보통 0 - 10 volt) 또는 표준 디지털 인터페이스(RS-485, Profibus, DeviceNet) 형태의 압력 정보	액티브 진공 측정기 측정 변압기 송신기

표 5.1: 액티브 및 패시브 진공 측정기

### 5.2.3 패시브 진공 측정기

패시브 진공 측정기는 통합된 전자 유닛이 없습니다. 이들은 케이블을 경유하여 제어 유닛에 연결됩니다. 제어 유닛은 전원 공급, 측정된 데이터의 평가 및 디스플레이를 제공합니다. 제어 유닛은 보통 아날로그 전압 출력, 디지털 인터페이스, 전환점에 대한 계전기 접촉기가 장착되어 있습니다.

### 5.2.4 조합 진공 측정기

조합 센서는 한 개의 동일한 측정 셀에서 두 개의 센서를 조합하여 다음과 같은 이점을 제공합니다.

- 단일 센서에 비해 더 넓은 측정 범위
- 두 센서에 대해 단 한 개의 측정값 출력
- 초과 압력에서 활성화되지 않고 예민한 고진공 측정기에 대해 통합된 보호
- 단 한 개의 연결 플랜지 필요

다양한 조합은 개별 시리즈에 주어진 정보에 설명되어 있습니다.

## 5.3 포트폴리오 개요

### 시리즈

파이퍼 베콤은 액티브 측정기는 단일 또는 조합 센서의 형태로, 패시브 측정기는 단일 센서로 제공합니다. 서로 다른 전기 인터페이스와 센서 전자를 갖춘 세 개의 제품 라인을 사용할 수 있습니다.

### 5.3.1 DigiLine

DigiLine 범위의 액티브 측정기는 직렬 RS-485 또는 fieldbus 인터페이스를 경유하여 압력 신호를 제공합니다. 24 VDC로 전원을 공급받습니다. 다양한 어플리케이션 옵션은 Figure 5.9에 설명되어 있습니다.

최대 두 개의 측정기가 작동될 수 있고, 그 압력값은 DPG 202 전원 공급 유닛으로 표시됩니다. DPG 202는 PC 연결용으로 한 개의 USB 인터페이스가 있습니다. 액티브 DigiLine 진공 측정기로부터 오는 신호는 PLC 또는 PC에 의해 직접 처리될 수도 있고 DokuStar Plus 소프트웨어에 의해 표시될 수도 있습니다.

DigiLine 측정기의 선택적인 버전들은 Profibus-DP 및 DeviceNet fieldbus 표준용 인터페이스와 함께 사용할 수 있습니다. 이렇게 되면 진공 측정기는 더 적은 수의 와이어류와 케이블류 그리고 빠른 초기 시작을 통하여 알려진 모든 절감 이점을 갖춘 공장 제어 시스템의 fieldbus 네트워크로 쉽게 통합될 수 있습니다.

더 큰 옵션은 추가 아날로그 출력 및 전환점을 갖춘 DigiLine 측정기입니다. 아날로그 출력은 중앙 제어 시스템과 연결된 송신기의 국부 압력 디스플레이의 설정과 같은 작업에 사용될 수 있습니다. 전환점은 고정 배선 안전 기능이 컴퓨터 제어와는 무관하게 제공되도록 해줍니다.



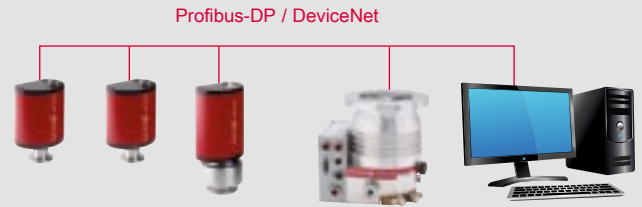
진공 측정기	진공 hPa 모델	압력 범위															
		초고				고				중간				저			
		10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
<b>DigiLine</b>																	
Piezo-분리 측정기	CPT 200																
Piezo/Pirani 측정기	RPT 200																
Pirani 측정기	PPT 200																
Pirani/저온 음극 측정기	MPT 200																
Pirani/Bayard-Alpert 측정기	HPT 200																
<b>ActiveLine</b>																	
Piezo 측정기	APR 250																
	APR 260																
	APR 262																
	APR 265																
	APR 266																
	APR 267																
용량형 측정기 온도 보상	CMR 361																
	CMR 362																
	CMR 363																
	CMR 364																
	CMR 365																
	용량형 측정기 온도 제어	CMR 371															
CMR 372																	
CMR 373																	
CMR 374																	
CMR 375																	
Pirani/용량형 측정기		PCR 280															
	TPR 280																
Pirani 측정기	TPR 281																
	저온 음극 측정기	IKR 251															
		IKR 261															
IKR 270																	
Pirani/저온 음극 측정기	PKR 251																
	PKR 261																
열음극 측정기	IMR 265																
Pirani/Bayard-Alpert 측정기	PBR 260																
<b>ModulLine</b>																	
Pirani 진공 측정기	TPR 010																
	TPR 017																
	TPR 018																
저온 음극 측정기	IKR 050																
	IKR 060																
	IKR 070																

표 5.2: 진공 측정기 선택 가이드

진공 한계에서의 판독은 측정 원칙에 따라 덜 정확할 수 있습니다.

■ **Fieldbus 솔루션**

균일한 세스템 제어 개념을 위한 버스 시스템. Profibus 또는 DeviceNet 인터페이스를 가진 액티브 측정기. 최대 126개의 슬레이브.



■ **고객 맞춤 디지털 솔루션**

PLC 또는 PC(DokuStar Plus 소프트웨어)로 직접 판독되는 데이터. 최대 32개의 장치; 최대 16개의 주소 지정 가능 측정기



■ **고객 맞춤 디지털/아날로그 솔루션**

TPG 261, TPG 262 또는 TPG 256 A가 있는 아날로그 인터페이스를 경유하는 중앙 디지털 데이터 수집 및 추가가 국부 디스플레이



■ **조합 솔루션**

DPG 202 디스플레이가 있는 한 개 또는 두 개 측정기의 작동이 PLC 또는 PC로 판독될 수 있습니다.

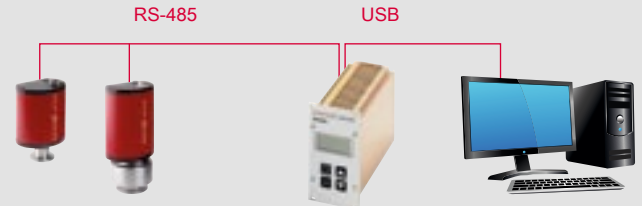


그림 5.9: 어플리케이션 개념 DigiLine

액티브 DigiLine 진공 측정기는 다음과 같은 이점을 제공합니다.

- $5 \cdot 10^{-10}$ ~2,000 hPa의 압력 범위가 전체 진공 범위를 포함
- 자유로운 조합 구성품
- 디지털 신호 덕에 안전한 데이터 전송
- 압력 값이 숫자로 전송되어서 곡선 교정 또는 전환이 필요치 않음
- Profibus-DP 및 DeviceNet fieldbus 인터페이스
- 데이터가 DokuStar Plus 소프트웨어를 갖춘 PC에서 직접 분석될 수 있음
- 쉬운 조정을 위한 원격 제어
- 거친 환경에서 신뢰할만한 작동을 위한 보호 등급 IP54 및 DIN M12 커넥터 조립체

액티브 DigiLine 단일 센서 측정기는 **piezo-격막 시스템 CPT 200**(2,000–1 hPa)과 **Pirani 시스템 PPT 200**(1,000– $10^{-4}$  hPa)의 형태에서 사용 가능합니다.

조합 센서가 있는 다음 측정기는 DigiLine 시리즈에서 사용 가능합니다.

■ **Piezo-Pirani 조합 RPT 200**

$p > 10$  hPa의 압력에 대한 Pirani 진공 측정기의 열 전도성 효과는 압력과 관계가 없기 때문에 격막 진공 게이지는  $p > 10$  hPa의 압력에서 사용됩니다. 이것은  $1,200 \sim 1 \cdot 10^{-4}$  hPa의 전체 측정 범위에서 양호한 정확성을 제공하고, 챔버 환기와 같은 공정이 이 측정기에 의해 정확히 제어될 수 있게 해줍니다.

■ **Pirani-저온 음극 조합 MPT 200.**

이 조합은  $1,000 \sim 5 \cdot 10^{-9}$  hPa의 압력 범위를 포함합니다. 저온 음극 측정 센서의 기체 방전은 Pirani 센서로 측정된 압력으로 초기화됩니다. 이 공정의 사용은 초과 압력에서 저온 음극의 우연한 활성화를 방지하고, 따라서 오염을 피합니다.

■ **Pirani/Bayard-Alpert 조합 HPT 200.**

이것은  $1,000 \sim 5 \cdot 10^{-10}$  hPa의 압력 범위를 포함합니다. Pirani 센서에 의한 압력 모니터링은 열음극 측정기가 과도하게 높은 온도에서 작동하는 것을 방지하고 열음극의 단락을 방지합니다. 이렇게 하면 음극 사용 수명이 굉장히 길어집니다.



### 5.3.3 ModulLine

ModulLine 시리즈엔 1,000~ $8 \cdot 10^{-4}$  hPa의 압력 범위에 대한 세 개의 패시브 Pirani 진공 센서 TPR과  $5 \cdot 10^{-3}$ ~ $10^{-11}$  hPa의 압력 범위에 대한 세 개의 저온 음극 진공 센서 IKR이 포함됩니다. 이 진공 센서들은 어떤 전자도 포함하고 있지 않으므로 높은 방사선 환경에 적합합니다. 거대한 케이블 범위는 진공 센서 사용 장소에서 멀리 떨어진 곳에 제어 유닛이 설치되도록 하기 위하여 사용 가능합니다.

다음과 같은 기능을 가진 TPG 300이 제어 유닛으로 사용됩니다.

- 다양한 측정 보드의 모듈 설계
- 계전기 출력이 있는 RS-232/RS-485 인터페이스 뿐만 아니라 두 개의 측정 보드를 삽입 가능
- 최대 네 개의 진공 센서에 연결
- Fieldbus 연결이 가능

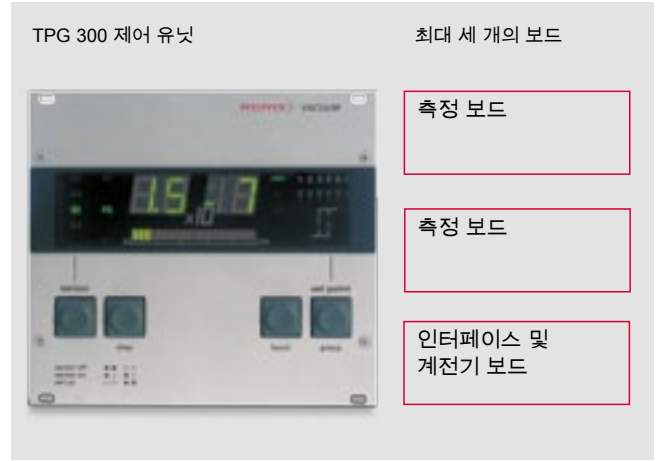


그림 5.11: ModulLine 센서를 위한 TPG 300 제어 유닛



# 6 질량 분석기와 잔류 기체 분석

## 6.1 소개, 작동 원리

질량 분석기는 가장 인기 있는 분석 방법 중 하나입니다. 질량 분석기는 진공 상태의 분압 측정에 의하여 화학 물질의 구성을 분석합니다.

### 질량과 전하

- 전체 압력은 주어진 기체 혼합물에서 모든 분압의 합입니다.
- 한 기체의 일정한 구성 성분의 분압을 결정하기 위해서는 혼합물에서 분리된 상태에서 측정되어야 합니다.
- 이것은 혼합물의 우선적인 분리를 필요로 합니다.
- 이것은 질량 대 전하 비  $m/e$ 를 기초로 수행됩니다.



그림 6.1: 전체 및 부분 압력 측정

분석은 일반적으로 연구 개발 분야에서 그리고 일상 생활에서 사용되는 제품의 생산에서 수행됩니다.

- 연구 개발
  - 촉매 작용 연구
  - 신약 개발
  - 신 물질의 개발
- 생산 공정 모니터링
  - 금속 공학의
  - 화학적 합성의
  - 반도체 생산의
  - 표면 기술의
- 트랙 및 환경 분석
  - 에어로졸과 오염 모니터링
  - 도핑 테스트
  - 법의학 분석
  - 기원을 알아내기 위한 동위 원소 분석

- 다음 분야에서의 제품 분석
  - 화학 산업
  - 고순도 기체 생산
  - 제약
  - 자동화(공급) 산업(누출 감지)
  - 식품의 품질 보장

질량 분석기는 기체 분석에 사용됩니다. 고체 또는 액체 물질들은 업스트림 유입 시스템에서 증발될 경우 분석될 수도 있습니다. 기체는 진공실에서 낮은 압력(분자 흐름 범위)으로 펌프 다운하고 전자 충격을 통하여 이온화함으로써 희석됩니다. 생성되는 이온은 전하 대 질량 비에 따라 매스 필터에서 분리됩니다.

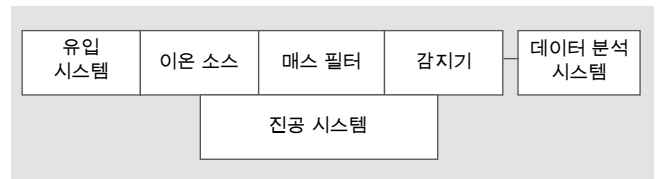


그림 6.2: 질량 분석기의 구성품

Figure 6.2는 질량 분석기 시스템의 일반적인 구성품을 보여줍니다.

- 예를 들어 분석될 물질은 모세관 밸브 또는 미터링 밸브를 경유하여 유입 시스템을 통하여 유입되고, 그런 다음
- 시스템의 작동 압력에 따라 진공 시스템을 사용하여 펌프 다운됩니다.

실제 분석기는 진공 상태에 위치하며 다음 구성품으로 구성됩니다.

- 이온 소스가 중성 기체 입자를 이온화하며, 중성 기체 입자는
- 질량 대 전하 비  $m/e$ 를 기초로 하여 매스 필터에서 분리됩니다.
- 이온 전류는 Faraday 감지기 또는 이온이 분리 시스템을 떠난 후 2차 전자 증배기(SEM)를 사용하여 측정됩니다. 전류는 각 기체 분자의 분압 단위 또는 이온 소스에서 생성되었을지도 모르는 성분의 단위입니다.
- 데이터 분석 시스템은 감지기의 도움을 받아 측정된 이온 전류를 처리하고 이 전류들을 다양한 형태로 보여줍니다. 오늘날 데이터 분석 소프트웨어 프로그램은 사용자의 질량 스펙트럼 해석을 지원할 수 있습니다.

질량 분석기는 사용 가능한 광범위한 버전이 나와 있습니다. 주요한 차이는 분리 시스템입니다. 다음 네 가지 유형의 매스 필터가 현재 광범위하게 사용되고 있습니다.

- **섹터 필드 질량 분석기**는 이동 전하 운반기에 자기장의 편향 효과를 사용합니다.
- 비행 시간형 질량 분석기(TOF)는 분리를 목적으로 동일한 에너지 분자의 다른 속도를 사용합니다.
- 이온 트랩에서 이온의 궤적은 고주파 필드의 영향을 받습니다.
- **4중극자 질량 분석기**는 고주파 필드(이온 트랩과 유사)에서 이동하는 이온의 공명을 이용합니다.

우리의 논의는 섹터 필드 질량 분석기와 4중극자 질량 분석기로 제한됩니다. 왜냐하면 이것들은 진공 기술 분야에서 가장 널리 사용되는 질량 분석기이기 때문입니다.

## 6.2 섹터 필드 질량 분석기

단순하고 튼튼한 설계 덕분에 섹터 필드 질량 분석기는 헬륨 누출 감지기에 사용됩니다. 이들의 질량 범위는  $2u$ (수소 분자)와  $4u$ (헬륨 원자) 사이의 질량으로 제한됩니다. 이것은 작고 간편하지만 매우 강력한 질량 분석기의 제작을 가능하게 해줍니다.

### 6.2.1 작동 원리

섹터 질량 분석기의 작동 원리는 Figure 6.3에 나와 있습니다.

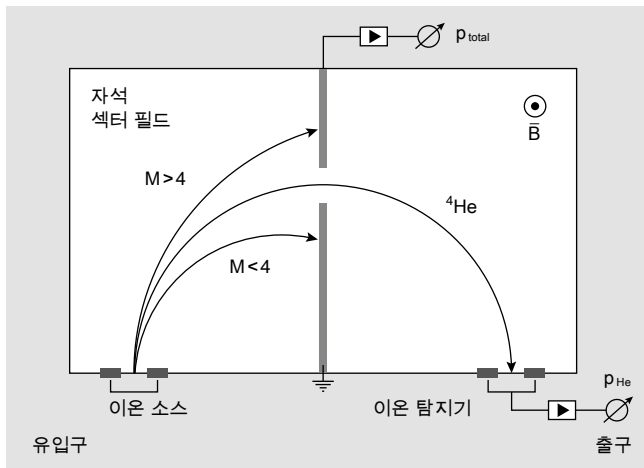


그림 6.3: 180° 섹터 질량 분석기의 작동 원리

중성 기체 입자는 이온 소스에서 전자 충격을 통하여 이온화됩니다(그림 6.4 a). 따라서 질량  $m$ 과 부하  $q$ 로 생성된 전자들은 잠재적인 경도  $U$ 를 통하여 자기 섹터 필드로 이동하면서 동시에 운동 에너지를 갖게 됩니다.

$$E_{kin} = q \cdot U = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

공식 6-1: 운동 에너지

즉 이 전자들은 섹터 필드를

$$\text{속도 } v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \text{ 로 통과합니다. 전하가 동일할 경우,}$$

따라서 속도와 주어진 거리를 지나가는 데에 요구되는 시간은 질량에 따라 달라집니다. 이것은 질량 분리를 목적으로 비행 시간형 질량 분석기에 의해 직접 이용됩니다. 섹터 필드 질량 분석기에서 이온은 속도와 자기장에 수직으로 이동하는 이온에 작용하는 Lorentz 힘에 의해 유발된 동종의 자기장에서 원형 경로를 따릅니다.

$$F = q \cdot v \cdot B$$

공식 6-2: Lorentz 힘

반경  $r$ 인 원형 경로에서 Lorentz 힘은 원심력과 동일합니다.

$$q \cdot v \cdot B = m \cdot v^2 / r$$

공식 6-3: 힘의 균형 상태

이것은 경로의 반경을 계산하는 데에 사용됩니다.

$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} \text{ 및 공식 6.1 } r = \sqrt{\frac{2mU}{qB^2}}$$

공식 6-4: 경로 반경

누출 감지기에 사용되는 섹터 필드 질량 분석기에 일정한 자기장을 공급하는 영구 자석이 장착되어 있으며, 그림 6.3에서는 화상면에 수직으로 위치해 있습니다. 분석기는 단일 전하 헬륨 이온들의 궤적이 제일 먼저 구멍을 통하여 그 다음엔 출구 구멍을 통하여 지나가서 마지막으로 감지기에 부딪치는 방식으로 조정됩니다. 다른 모든 분자들은 구멍을 통하여 지나갈 수 없고 다시 중화됩니다. 헬륨에 대해 측정된 이온 전류는 헬륨 분압에 비례합니다. 공식 6-4에서 볼 수 있듯이, 경로의 반경은 가속 전압  $U$ 를 통과하면서 변할 수 있습니다. 실제 사용은  $^4\text{He}$  뿐만 아니라  $m/e$  비가 2와 3인 이온까지도 출구 구멍으로 굴절시키고 기체 수소와  $^3\text{He}$ 의 감지에 제한되어 있습니다.

누출 감지 시 헬륨 테스트 기체의 높은 감지 감도를 얻기 위하여 섹터 필드 질량 분석기가 민감한 감지기에 장착됩니다. 간단한 금속 수집기(Faraday 컵)는 더 이상 현재의 요구조건을 충족시키지 않습니다. 그래서 현대의 누출 테스터는 극히 소형인 마이크로 채널판들을 포함시켜 고성능 저소음입니다. 양쪽 면이 금속으로 코팅된 이 유리 마이크로 채널판들은 끝면(그림 6.4 b)에 약간 경사가 져 있고 내부 표면이 코팅된 가느다란 채널들을 무척 많이 갖고 있습니다. 이온이 표면에 부딪칠 경우 2차 전자들의 무더기 움직임이 촉발되고, 이것은 판에 적용된 전압에 의하여 감지기로 가속화됩니다.

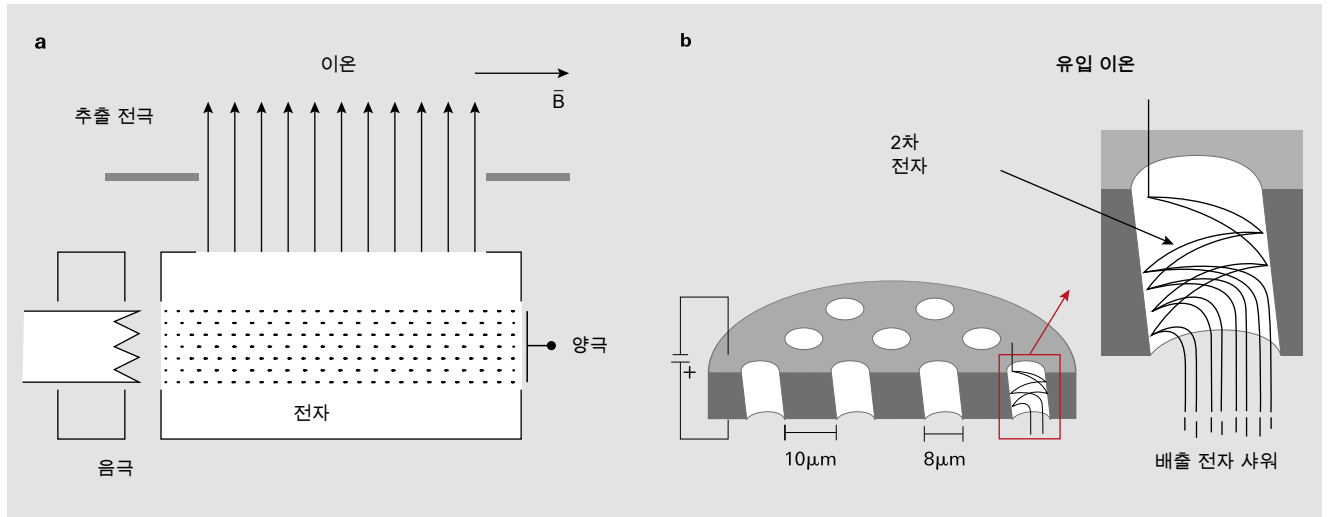


그림 6.4: 섹터 필드 질량 분석기: (a) 이온 소스, (b) 감지기

공식 6-4에 따르면 궤적의 반경은 자기장에 반비례합니다. 영구 자석에 사용 가능한 재료들은 자기장 강도에 제한을 부여합니다. 이것은 헬륨 분석기의 반경을 10cm로 요구합니다. 이온의 궤적이 충돌에 의해 방해받지 않도록 하기 위해서는 평균 경로 길이가 대략 같은 규모여야 합니다. 헬륨 섹터 필드 질량 분석기의 최대 연속 작동 압력은 따라서 약  $10^{-5}$  hPa입니다.

### 6.2.2 어플리케이션 주의사항

헬륨 감지용 섹터 필드 질량 분석기는 지금은 자동 제어 진공 시스템이 있는 누출 테스터에 통합되었습니다. 그 결과 작업자는 분석기의 기능적 용량에 대해 걱정할 필요가 없습니다. 이 시점에서 높은 감지 감도를 유지하기 위한 내부 표면의 이 간 거리의 중요성을 강조할 필요가 있습니다.

- 퇴적물은 산란된 이온으로 충격을 받으면 국부 공간 전하로 바뀔 수 있습니다. 이 전하들은 헬륨 이온의 경로를 변류하여 감지기에 도달하는 이온들의 수를 감소시킵니다.
- 마이크로 채널판의 퇴적물은 2차 전자의 생산을 감소시키고 따라서 증폭 인자를 낮춥니다.

분석기의 내부 벽은 간단한 청소가 가능하지만, 오염된 마이크로 채널판들은 교체되어야 합니다. 계기의 높은 감지 감도를 유지하기 위해서는 물체와 장비의 청소가 매우 중요합니다.

## 6.3 4중극자 질량 분석기(QMS)

### 6.3.1 4중극자 매스 필터

4중극자 질량 분석기의 필터 시스템은 정사각형 모양으로 배열된 4개의 병렬 봉으로 구성되어 있습니다. Figure 6.5를 보면, (+) 또는 (-)로 지정된 마주보는 봉들의 각 쌍이 서로에게 연결되어 있습니다. 두 쌍의 봉 사이에서는 다음과 같이 직류 부분  $U$ 와, 진폭  $V$ 와 주파수  $f = \omega / 2\pi$ 를 가진 교류 부분으로 구성된 전압이 적용됩니다.

$$U_{quad} = U + V \cdot \cos \omega t$$

공식 6-5: 4중극자 편향 전압

이 지점에서는 작동 원리의 간단한 현상적 설명만 제공됩니다. 더 자세한 설명은 별책을 참조하십시오[29, 30, 31].

이상적인 4중극자 필드는 쌍곡선 프로필을 가진 봉이 필요합니다. 그러나 실제로는 봉 반경이 필드 반경  $r_0$ 의 1.144배인 실린더형 봉이 사용됩니다(필드 반경에 대한 정의는 그림 6.5를 참조하십시오). 전기 4중극자 필드가 봉 사이에서 형성됩니다. 다양한 질량을 가진 이온들이 대략 동일한 에너지로 봉 시스템으로 축 방향으로 분사되어 균일한 속도로 봉 시스템을 통과하여 이동합니다. 적용된 4중극자 필드는 이온들을 X 및 Y 방향으로 변류시켜 이온들이 매스 필터를 통하여 Z

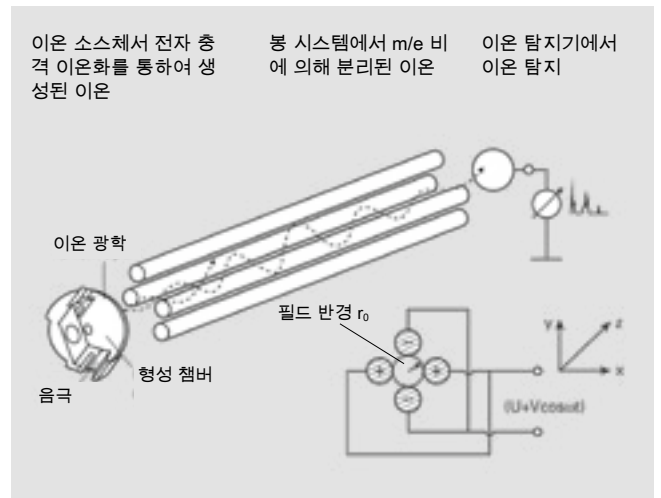


그림 6-5: 4중극자 질량 분석기의 작동 원리

질량 분석기와 잔류 기체 분석



축 주위로 나선형 궤적을 따르게 합니다. 궤적 진동의 진폭이 필드 반경  $r_0$ 보다 작을 경우, 이온들은 감지기에 도달합니다. 진폭이 이 값을 초과할 경우, 이온들은 봉 또는 주위 표면에 서 방전하고 필터를 통과하지 않습니다.

동작의 방정식을 풀기 위하여 4중극자의 매개변수(직류 전압  $U$ , 교류 진폭  $V$ , 필드 반경  $r_0$ , 각 주파수  $\omega = 2\pi f$ )와 이온의 매개변수(전하  $Q = z \cdot e$ , 질량  $m = M \cdot m_u$ )를 결합한 두 개의 무차원 변수  $a$ 와  $q$ 가 도입됩니다.

$$a = \frac{8 \cdot Q \cdot U}{m \cdot r_0^2 \cdot \omega^2}$$

공식 6-6: 안정성 매개변수  $a$

$$q = \frac{4 \cdot Q \cdot U}{m \cdot r_0^2 \cdot \omega^2}$$

공식 6-7: 안정성 매개변수  $q$

이와 같은 단순화와 함께 수학에서 잘 알려진 솔루션인 마티유의 미분 방정식이 얻어집니다. 이 방정식은 Figure 6.6에서 두 개의 제한적인 곡선에 의하여 형성된 삼각형 아래에 위치한 안정성 매개변수  $a$ 와  $q$ 의 쌍에 대한 진동 진폭  $r_{max} < r_0$ 을 사용하여 안정적인 궤적 범위를 계산하는 데에 사용될 수 있습니다. 이 범위 이외의 모든 솔루션은 점점 커지는 진동 증폭을 낳고 따라서 4중극자 필터 봉에서 이온의 중화가 일어납니다. 두 개의 방정식을 서로 나누면 다음과 같은 등식이 얻어집니다.  $a/q = 2U/V$ . 이것이 매스 필터의 소위 부하 라인 경사입니다.

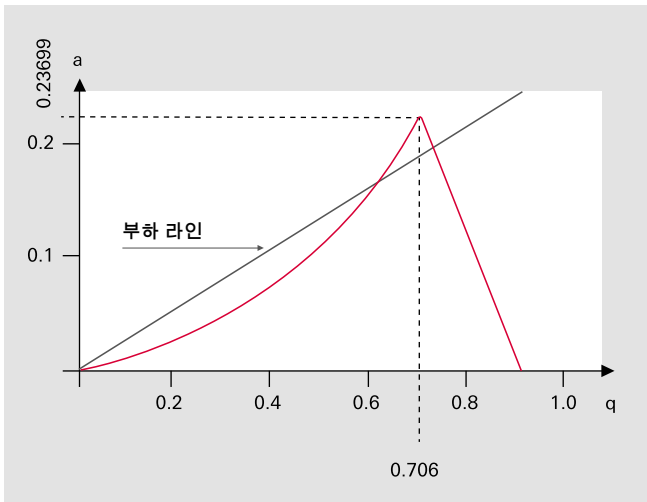


그림 6.6: 4중극자 필터의 안정성 다이어그램

한계에 도달하면 부하 라인은 다음 값일 때 최대치에 도달합니다.  $a_p = 0.237$  및  $q_p = 0.706$ .

4중극자 필터는 전압비가  $\frac{U}{V}$  일 때에만 투명해집니다.  $= \frac{a_p}{2 \cdot q_p} < 0.1678$ ,

다시 말해 이 때는 부하 라인이 안정성 범위와 교차합니다. 매개변수  $a$ 와  $q$ 가 부하 라인 위의 삼각형 안에 위치한 모든 이온은 감지기에 도달합니다.

비  $m_u/e$ 를 원자 질량 단위  $m_u = 1.6605 \cdot 10^{-27}$  kg과 전하량  $e = 1.6022 \cdot 10^{-19}$  A · s ( $m_u/e = 1.0365 \cdot 10^{-8}$  kg A<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>) 사이에 도입하여 이를 해당 이온의 무차원 질량 수  $M$ 으로 곱하면 안정성 삼각형이 정점에 닿았을 때 전압  $U_p$ 과  $V_p$ 에 대한 다음 조건이 얻어집니다(상수  $k_U = 1.2122 \cdot 10^{-8}$  kg A<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> 및  $k_V = 7.2226 \cdot 10^{-8}$  kg A<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>일 경우).

$$U_p = k_U \cdot M \cdot r_0^2 \cdot f^2$$

공식 6-8: 안정성 조건 U

$$V_p = k_V \cdot M \cdot r_0^2 \cdot f^2$$

공식 6-9: 안정성 조건 V

안정성 조건은 고정 주파수일 경우 4중극자 필터에서 전압과 질량 사이에 직접적인 비례 관계가 있으며 다양한 전압 진폭으로 선형 질량 척도가 얻어진다는 것을 보여줍니다.

직류 전압 차단으로  $U = 0$ 일 경우,  $q < 0.905$ 이면 이온의 모든 궤적은 안정됩니다. Formula 6-3에 따르면 다음 경우에 이온은 모두 질량이 됩니다.

$$M > \frac{k_H \cdot V}{r_0^2 \cdot f^2}$$

공식 6-10: 하이 패스 조건

여기서  $k_H = 1.0801 \cdot 10^7$  A s kg<sup>-1</sup>은 상수입니다. 따라서 필터는 이 작동 모드에서 하이 패스로 작용합니다. RF 진폭  $V$ 가 증가하면 더 무거운 유형의 이온들이 불안정해져서 가벼운 질량을 갖기 시작하고 따라서 분리되어 떨어뜨려집니다. 이런 작동 모드는 완전한 스펙트럼을 만들어 전체 압력 측정 이 수행되게 합니다.

이온 주입 조건은 필터를 통한 이온의 전달에 중요합니다. 이온은 봉 시스템의 중앙과 가능한 한 가까운 영역에서 4중극자로 들어가고 하고 이상적으로는 봉의 축과 평행하도록 움직여야 합니다.

필드 직경(봉 사이의 거리)이 클수록 4중극자(봉 길이)는 더 길어지고, 이런 조건을 수행하기가 더 쉬워집니다. 또한 기하학적 정확성(생산 허용치)은 봉 치수가 커질수록 도달하기가 더 쉽습니다.

6.1.4.1에 설명된 파이퍼 베콤 이온 소스는 높은 투명성으로 따라서 높은 감도로 바뀝니다.

실제 작동 시, 비  $U/V$ 는 실제 솔루션  $M/\Delta M$ 이 일정한 상태를 유지하지는 않지만 라인 폭  $\Delta M$  대신 일정한 상태를 유지하는 방식으로 질량 수의 기능으로 활성화됩니다. 이는 해상도가 질량 수에 비례하여 증가함을 의미합니다. 공식 6-9( $V$ 는  $M$ 에 비례)에 따라 4중극자(섹터 필드 질량 분석기와 반대로)는 선형 질량 척도를 산출합니다.

QMS에서 중요한 의미가 있는 한 가지는 요구되는 RF 전력입니다. 시스템의 전체 용량을 지정하기 위하여  $C$ 가 사용되고 전력 회로의 품질 계수를 지정하기 위하여  $Q$ 가 사용될 경우,

$$N_{RF} \approx \frac{C}{Q} \cdot M^2 \cdot f^5 \cdot r_0^4$$

공식 6-11: RF 전력

$f$  및  $r_0$ 의 전력이 높으면 요구되는 RF 전력이 증가합니다 필드 반경  $r_0$ 이 확대되면 발생하는 상대적 기계 허용치가 줄어들고, 따라서 개선된 행동이 나타납니다. 기본적으로  $f_0$  및  $r_0$ 은 가능한 한 크게 선택하는 것이 좋습니다. 하지만 Formula 6-11에 따르면 이렇게 때문에 RF 전력에서 이와 연관된 증가는 제한이 있습니다. 붕 시스템의 확대는 더 낮은 작동 주파수를 허용하지만, 생산 단위의 크기가 일정한 실제 치수를 초과해서는 안 됩니다.

요구되는 질량 범위와 원하는 해상도는 필터의 치수와 선택된 작동 주파수에 의해 좌우됩니다. 붕 직경이 6, 8 및 16mm 이고 이와 대략 일치하는 전자를 가진 장치들은 요구조건을 최대한 만족시키기 위하여 사용 가능합니다.

다음은 해상도와 기계적 정밀성 사이의 관계에 대해 간단한 여담입니다. 안정성 다이어그램이 정점에 달했을 때 즉 해상도가 높을 때 작동하는 4중극자 매스 필터에 대하여 생각해 봅시다. 다음 방정식은 공식 6-8

$$U = 1.2122 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}} \cdot M \cdot r_0^2 \cdot f^2$$

을 직류 진폭일 경우에, 공식 6-9

$$U = 7.2226 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}} \cdot M \cdot r_0^2 \cdot f^2$$

을 교류 진폭일 경우에 적용합니다. 여기서  $M$ 은 이온의 질량을,  $r_0$ 은 필드 반경을,  $f$ 는 필터가 작동되는 주파수를 지정합니다. 전압  $U$ 와  $V$ 는 모두 주파수  $f$ 와 마찬가지로 "원하는 만큼 정확히" 설정되고 유지될 수 있다는 이상적인 가정 하에 서입니다.

그 결과는 다음과 같습니다.  $M = c_k \cdot \frac{1}{r_0^2}$

이 때  $c_k$ 는 상수입니다. 미분,  $M$ 에 의한 나눗셈, 값의 결정에 따르면,  $r_0$ 에 의한 필터 분산은 다음과 같습니다.

$$\frac{dM}{M} = \frac{2 \cdot \Delta r_0}{r_0}$$

공식 6-12: 분산

필드 반경  $r_0$ 이 매스 필터의 길이에 따라  $dr_0 = 0.03 \text{ mm}$  변화한다고 가정해봅시다. 이제 이 변화가 크기가 다른 두 개의 매스 필터에 영향을 미친다고 생각해봅시다. 최적의 전달일 경우 분석기에서 설정된 해상도 ( $\Delta M/M = 1/100$  선택)은  $r_0$ 의 변동으로 생긴 분산보다는 더 커야 합니다. 필드 반경이 3mm인 필터일 경우, 결과는  $dM/M = 2 \cdot 0.03 \text{ mm} / 3 \text{ mm} = 0.02$ 입니다. 다시 말해 불완전한 기하학으로 인한 분산이 원하는 해상도에 도달하는 것을 방해합니다. 필드 반경이 이보다 더 큰 12mm인 다른 필터일 경우, 결과는  $dM/M = 2 \cdot 0.03 \text{ mm} / 12 \text{ mm} = 0.005$ 이고, 기하학이 원하는 해상도에 도달하는 것을 방해하지 않습니다. 달리 말하면, 두 개의 필터에  $\Delta M/M = 0.01$ 의 해상도가 설정되어 있을 경우에 첫 번째 경우에는 대부분의 이온이 필터를 통과할 수 없습니다. 두 번째 4중극자에 대한 더 큰 필터일 경우에는 모든 이온이 필터를 통과할 수 있습니다.

이 단순화된 오류 계산이 전달에 기여할 수 있는 모든 효과를 결코 고려하지 않는다 할지라도 다음과 같은 여러 가지 기본적인 관계는 보여줍니다.

- 필드 반경은 선택된 질량 범위에 따라 전체 필터 길이에 대하여 1% 더 큰 상태로 유지되어야 합니다. 필드 반경의 변동은 전송 손실을 유발합니다.
- 붕 시스템의 치수가 더 크게 선택될수록 절대적 기계적 허용치의 영향은 더 작아집니다.
- 인접한 질량이 차별화되는 질량 범위가 클수록 매스 필터의 상대적 정확성과 관련된 요구조건은 더 엄격해집니다.

**요약**

4중극자 매스 필터는 양이온과 음이온에 대한 동적 매스 필터입니다. 질량 척도는 직류 전압  $U$ 와 고주파수 전압 진폭  $V$  사이의 비에 의하여 편리하게 전기적으로 설정될 수 있습니다. 소형 치수와 가벼운 중량으로 인하여 4중극자 질량 분석기는 순수 잔류 기체 분석기로서 그리고 더 높은 품질로 설계된 기체 분석용 센서로서 모두 적합합니다.

질량 분석기와 잔류 기체 분석

### 6.3.2 이온 소스

매스 필터에서 분석되기 전에 기체는 우선 전자 충격에 의하여 이온 소스에서 이온화됩니다(그림 6.6). 전자는 전기적으로 가열된 음극(필라멘트)에서 방출됩니다. 전압은 양극과 음극 사이에서 적용되어 전자를 가속합니다. 양극과 음극 사이의 형성 공간에 존재하는 중성 기체 분자들은 전자들 사이의 충돌에 의하여 이온화되고, 싱글 및 다중 양이온을 형성합니다. 충돌하는 전자들의 에너지는 형성되는 이온의 수와 유형에 모두 중대한 영향을 미칩니다.

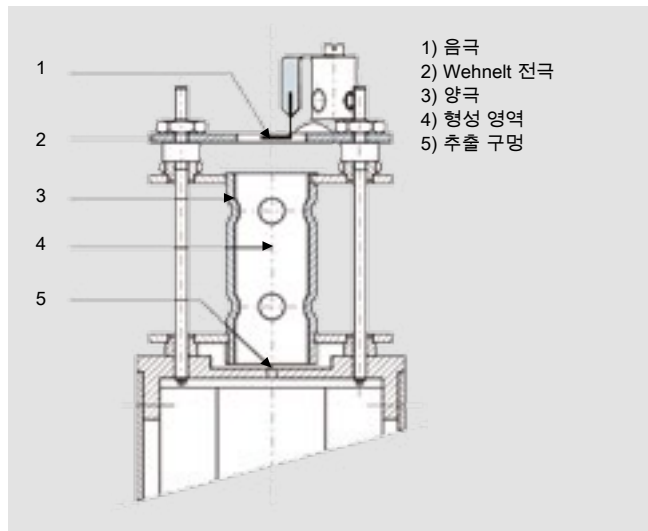


그림 6.6: 축 방향 이온 소스를 통과하는 섹션

중성 입자의 이온화는 10~30eV의 최소 전자 에너지에서 시작합니다(출현 전위). 전자 에너지가 상승하고(가속 전압), 해당 기체 유형에 따라 50~150eV에서 최대치에 도달하고, 에너지가 계속 상승하면서 다시 느리게 감소하면, 형성된 이온의 수는 빠르게 증가합니다. 이온이 생성된 이후에 질량 분석기의 감도가 가능한 한 커지면 70~100eV의 전자 에너지가 일반적으로 사용됩니다.

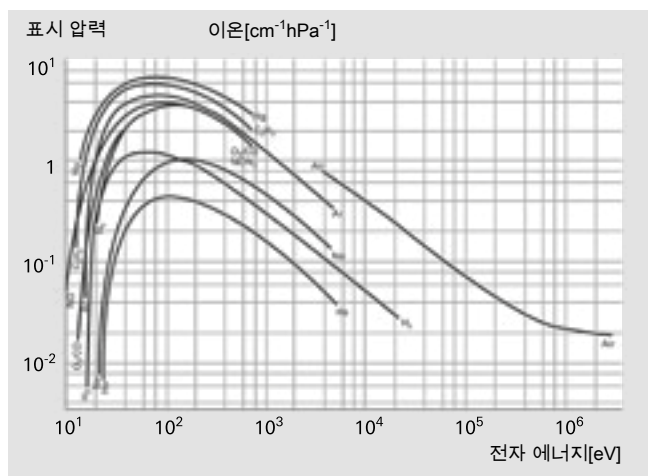


그림 6.7: 전자 에너지의 기능으로써의 이온화

기체 구성 성분 K의 이온 전류  $I_{K+}$ 는 다음 관계에서 계산될 수 있습니다.

$$I_{K+} = i \cdot l_e \cdot s \cdot \rho_K$$

공식 6-13: 이온 전류

실제 경우,  
 $i$  = 전자 전류(방출 전류), A  
 $l_e$  = 전자의 평균 경로 길이, cm  
 $s$  = K의 차등 이온화 효과 횡단면, 1/(cm · hPa)  
 $\rho_K$  = 기체 구성 성분 K의 분압, hPa

복잡한 분자를 이온화할 때에는 많은 유형의 이온이 형성됩니다. 싱글 및 다중 전하 분자 이온(ABC<sup>+</sup>, ABC<sup>++</sup>) 이외에 다음과 같은 조각 이온도 발생합니다.

- ABC<sup>+</sup> 2e<sup>-</sup>
- ABC<sup>++</sup> + 3e<sup>-</sup>
- AB<sup>+</sup> + C + 2e<sup>-</sup>
- BC<sup>+</sup> + A + 2e<sup>-</sup>
- A<sup>+</sup> + BC + 2e<sup>-</sup>
- C<sup>+</sup> + AB + 2e<sup>-</sup>
- B<sup>+</sup> + A + C + 2e<sup>-</sup>

이런 유형 이외에도 AC<sup>+</sup>와 같은 재조합 이온들이 형성되는 것도 가능합니다. 개별 유형 이온들의 발생 및 상대적 빈도는 일정한 유형의 분자의 특성이자 분자 확인 시 중요한 역할을 하며 따라서 질적 기체 분석 시 도움이 됩니다. Figure 6.8은 70eV의 전자 에너지에서 기록된 단일 분자 CO<sub>2</sub>의 조각 이온 분배(균열 패턴 또는 조각 패턴)를 보여줍니다.

이온 소스와 최적의 필라멘트 재료의 선택은 측정 업무에서 부과한 요구조건에 기초합니다. 어플리케이션은 종종 이온 소스에 모순되는 요구조건을 부과합니다. 최적의 결과에 도달하기 위하여 이온 소스는 현재 업무와 일치해야 합니다. 그 결과 레늄(Re), 텅스텐 또는 산화이트륨화 이리듐(Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ir)으로 만들어진 음극이 거의 모두 장착될 수 있는 이온 소스의 다른 유형의 개발로 이어졌습니다. 텅스텐(W) 음극은 UHV 범위에서 또는 레늄(Re)의 증기압이 방해 효과를 낼 수 있는 곳에서 선호됩니다. 그러나 텅스텐/탄소/산소 사이클로 인한, 즉 W<sub>2</sub>C의 형성으로 인한 텅스텐 음극의 취성을 고려해야 합니다. 산화이트륨화 이리듐은 과거에 사용되었던 순수 금속 음극 대신 현재 점점 더 많이 사용되고 있습니다. 이 음극이

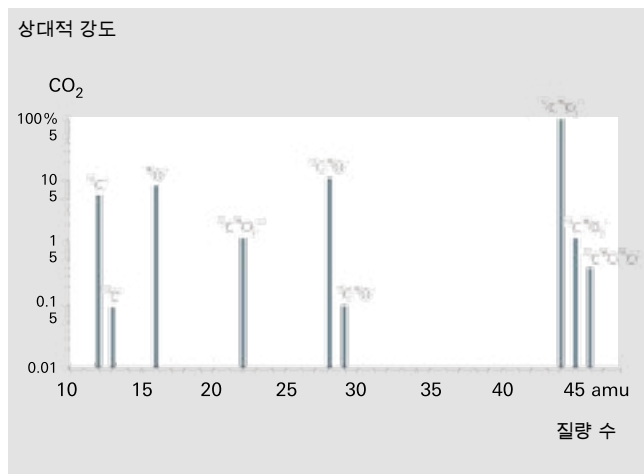


그림 6.8: CO<sub>2</sub>의 조각 이온 분배

재료	온도	적용 가능 기체	비고
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Ir	1,300 °C	불활성 기체, 기체/O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub>	O <sub>2</sub> 의 고농도에 둔감한 할로겐 사용 시 짧은 사용 수명은 O <sub>2</sub> 또는 H <sub>2</sub> O 배경에서 약간의 CO / CO <sub>2</sub> 를 생성합니다.
W	1,800 °C	불활성 기체, H <sub>2</sub> , 할로겐, 프레온	Short service life with O <sub>2</sub> 어플리케이션 사용 시 짧은 사용 수명은 O <sub>2</sub> 또는 H <sub>2</sub> O 배경에서 약간의 CO/CO <sub>2</sub> 를 생성하고, C는 취성을 유발합니다.
Re	1,800 °C	불활성 기체, 탄화수소, H <sub>2</sub> , 할로겐, 프레온	탄화수소와 함께 사용 시 재료의 증발로 약 3개월의 사용 수명

표 6.1: 필라멘트 재료와 사용

제공하는 이점은 훨씬 낮은 작동 온도 및 공기 유입에 대한 상대적 둔감성입니다. 결과적으로 이런 음극의 실행에서 선호되는 분야는 감온성 물질(예: 금속 유기 합성물)의 분석 또는 고농도 산소를 함유한 기체 혼합물에서의 오염물 분석입니다.

다양한 이온 소스가 어플리케이션 속성 및 분야를 기초로 하여 아래에 설명되어 있습니다. 이온 소스의 공통점은 최대 150V의 전위에 연결될 수 있다는 것입니다. 이렇게 되면 EID 이온(EID = 전자 충격 탈착, ESD = 전자 자극 탈착으로도 알려짐)으로 인해 신호 배경을 피할 수 있습니다. 이 기술은 나중에 상세하게 설명됩니다.

**축 방향 이온 소스**

이 이온 소스는 매우 튼튼한 기계적 설계와 높은 감도가 특징입니다. 이 이온 소스는 개방형 구조로 인해 기본적으로 고진공 시스템에서의 잔류 기체 분석을 위해 사용됩니다. Figure 6.6은 축 방향 이온 소스의 구성도를 보여줍니다. 음극(1)은 Wehnelt 전극(2)의 구멍 속에 배열되어 있고, 한 쪽은 이 전극에 연결되어 있습니다. 양극(3)으로 가속화된 전자는 형성 영역(4)에서 기체 분자를 이온화합니다. 양이온은 추출 구멍(5)을 통하여 매스 필터에 도달합니다. 상대적으로 개방된 구조 덕분에 탈착과 표면 반응을 통하여 오직 소량의 위조만 발생합니다.

**그리드 이온 소스**

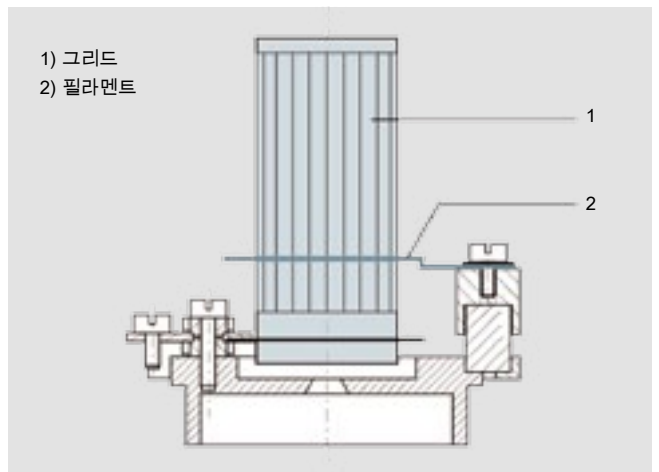


그림 6.9: 그리드 이온 소스

그리드 이온 소스는 UHV 또는 심지어 XHV 어플리케이션에서 잔류 기체 검사에 사용됩니다. 극단적인 개방 구조와 재료 선택은 무척 낮은 내부 기체 방출을 보장합니다. 이 이온 소스엔 기체 제거를 위하여 동시에 가열될 수 있는 두 개의 텅스텐 필라멘트가 장착되어 있습니다. 10<sup>-11</sup> hPa 이하의 압력에서 작업이 수행될 경우엔 특히 이 목적을 위하여 높은 수준으로 기체 제거된 봉 시스템이 사용되어야 합니다. 10<sup>-10</sup> hPa 이하의 압력 범위에서의 측정엔 소위 EID(전자 충격 탈착) 이온에 의해 위조될 수 있습니다 [32]. 이 (H<sup>+</sup>, O<sup>+</sup>, F<sup>+</sup>, Cl<sup>+</sup>) 이온들은 표면에 종종 가해지는 고성능 전자 충격에 의하여 직접 탈착됩니다. EID 이온은 UHV 장비 또는 이온 소스의 초기에 발생하는 흡착된 코팅으로부터 발생하고, 보통 초기 에너지가 몇 eV 정도입니다. 이런 속성은 약 100eV의 에너지를 가진 기체상에서 생겨나는 이온과 비교하여 EID 이온을 억제하기 위하여 필드 축 전압을 신중히 선택함으로써 사용됩니다(Figure 6.10).

질량 분석기와 잔류 기체 분석

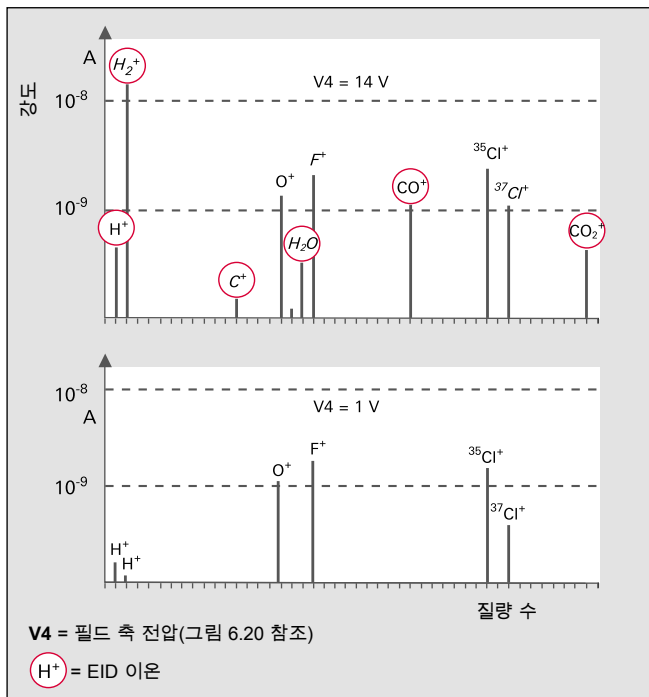


그림 6.10: EID 이온의 판별

**크로스 빔 이온 소스**

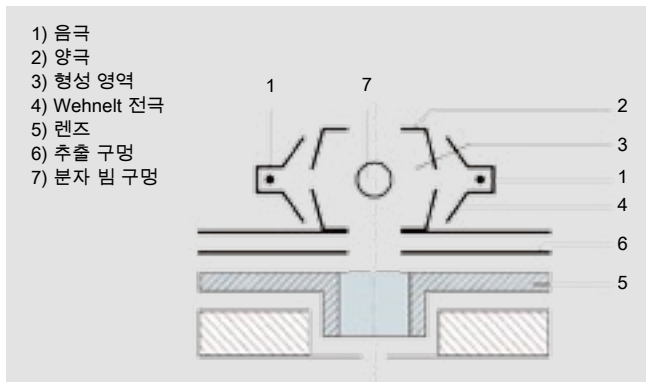


그림 6.11: 크로스 빔 이온 소스

크로스 빔 이온 소스(Figure 6.11)는 분자 빔이 시스템 축에 수직으로 그리고 평행으로 직접 통과하는 것을 허용합니다. 이 시스템은 사전 선택 가능한 에너지(0-120eV)를 왼쪽 또는 오른쪽 필라멘트(1)에서 형성 영역(3)으로 방출합니다. 필라멘트 전위에 있는 Wehnelt 실린더(4)는 전자가 환경으로 산란하는 것을 방지합니다. 전자 에너지가 폭 넓은 한계 내에서 설정될 수 있기 때문에 이 이온 소스는 출현 전위를 결정하는 데에 사용될 수 있습니다. 크로스 빔 이온 소스는 이온이 매스 필터로 들어가는 조건을 매우 정밀하게 유지합니다. 크로스 빔 이온 소스는 번들 분자 빔의 진단에 사용됩니다. 이 공정에서 분자 빔이 주입 관 축에 수직인 형성 영역으로 주입됩니다(Figure 6.11). 비이온화 중성 기체 분자는 이온 소스(7)를 통과한 후 펌프 또는 응축용 쿨드 트랩으로 보내집니다. 이런 유형의 이온 소스가 있는 질량 분석기는 분자 빔 에피택시용 „계수율계“로 사용되기도 합니다.

**기체 기밀 이온 소스**

위에서 설명한 이온 소스 중 일부는 기체 기밀 버전에서도 사용 가능합니다. 기체 기밀 이온 소스는 오직 소량의 기체 표본만 사용 가능할 경우 또는 잔류 기체에 의해 생성된 신호 배경이 효과적으로 억제되어야 할 경우에 사용됩니다. 이 구성에서 기체 유입 시스템(예: 가열식 모세관)과 이온 소스는 서로 잘 맞아야 합니다. 유입 기체 부피는 형성 영역의 압력을 결정하며, 이 압력은 이온 소스의 전도성에 의하여 둘러싸고 있는 진공실에서 배가 될 수 있습니다. 작동 원리는 이제 예시에 의하여 축 방향 이온 소스를 사용하여 제시됩니다.

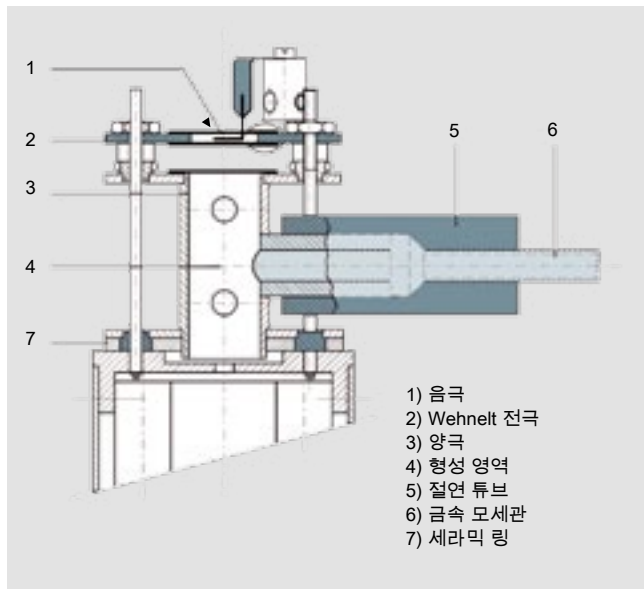


그림 6.12: 기체 기밀 축 방향 이온 소스

분석되어야 할 기체는 대기 전위에 있는 금속 모세관(6)과 절연 튜브(5)를 경유하여 형성 영역(4)으로 직접 도입됩니다. 절연은 와셔(7)에 의해 제공됩니다. 진공실에 대한 전도성은 약 1 l/s입니다.

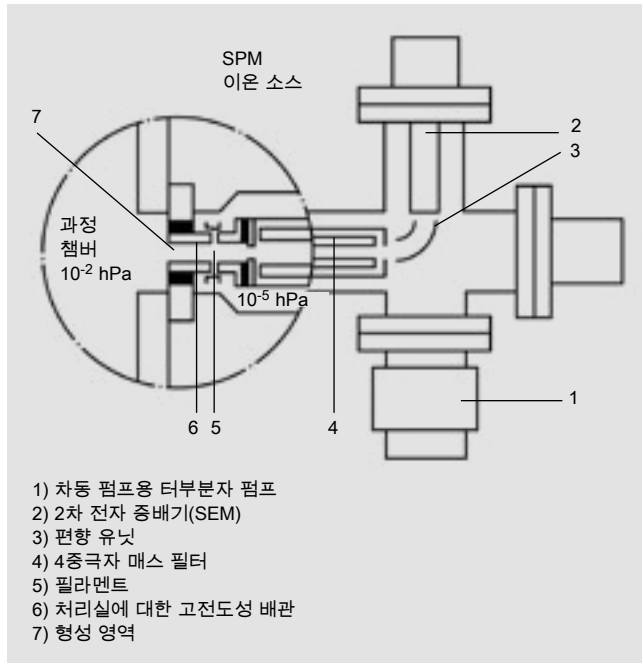


그림 6.13: SPM 이온 소스

**스퍼터 공정 모니터(SPM) 이온 소스**

이 이온 소스에서 형성 영역(7)은 공정 챔버와 직접 연결되어 있습니다. 분석기엔 음극 공간(5)을 약  $10^{-5}$  hPa로 비우는 소형 터보 펌핑 스테이션(1)이 장착되어 있습니다. 전자는 기체를 이온화하기 위하여 작은 구멍들을 통하여 낮은 압력 측면에서 형성 영역(7)으로 주입됩니다. 따라서 형성된 이온은 낮은 압력 측면에 난 작은 구멍을 통하여 매스 필터로 추출됩니다. 이 이온 소스는 스퍼터링 공정에서 기체의 구성을 검사하는 데에 두 가지 중요한 이점을 제공합니다. 한 편으로는 최대 세 단계 더 높은 이온 소스 압력에서 분석이 수행됩니다. 다시 말해 더 높은 공정 압력이 진공실에서 허용될 수 있습니다. 또 한편으로는 고온 필라멘트가 스퍼터링 공정과 직접 접촉하지 않습니다. 이것은 민감한 공정 동안 열음극에 의한 오염을 방지합니다.

**표준 PrismaPlus 이온 소스**

파이버 베콤의 PrismaPlus 질량 분석기엔 이 튼튼하고 매우 민감한 이온 소스가 장착되어 있습니다. 이것은 특히 잔류 기체 분석에 적합한 이온 소스입니다. 설계는 두 개의 음극이 있어서 신뢰할 수 있는 작동을 보이는 그리드 소스의 설계와 비교 가능합니다. 축 방향 기체 유입구가 있는 기체 기밀 버전 뿐만 개방형 버전 모두 사용 가능합니다.



개방형 설계

기체 기밀 설계

그림 6.14: PrismaPlus 이온 소스

여기서 설명된 모든 이온 소스는 전자 충격에 의하여 이온화합니다. 이온 소스는 다음과 같이 두 개의 집단으로 분류될 수 있습니다.

- 개방형 이온 소스는 분석될 기체가 고진공에서  $< 1 \cdot 10^{-4}$  hPa일 경우에 사용됩니다.
- 폐쇄형 이온 소스는 분석적 어플리케이션에서, 예를 들면 표본 기체의 소량의 부피만 사용 가능할 경우에 또는 질량 분석기 진공 시스템의 배경 효과를 줄이기 위하여 사용됩니다.

폐쇄형 이온 소스는 더 높은 압력 기체를 분석하기 위하여 다르게 펌프된 시스템과 조합하여 사용됩니다(Figure 6.13).

**6.3.3 감지기**

질량 대 전하 비를 기초로 하여 봉 시스템에서 분리된 이온은 다양한 유형의 감지기를 사용하여 다음과 같이 전기적으로 감지될 수 있습니다.

- 전기계 증폭기를 사용하여 이온 전류의 직접 측정을 위한 Faraday 컵에 의하여
  - 독립 다이노드가 있는 개별 설계의 2차 전자 증배기(SEM)를 사용하여
  - 연속 2차 전자 증배기(C-SEM)에 의하여
- 감지기 선택은 기본적으로 감지 감도, 감지 속도, 신호 대 잡음 비와 관련된 요구조건에 기초합니다. 그러나 감지기 선택은 안정성, 열 및 화학적 저항, 공간 요구조건과 관련된 다른 어플리케이션 지정 요구조건에 좌우되기도 합니다.

**Faraday 컵**

가장 단순한 경우, 이온은 Faraday 수집기(Faraday 컵)에 부딪치며, 전기 전하를 잃습니다.



그림 6.15: Faraday 컵의 작동 원리

그 결과로 만들어진 전류는 민감한 전류-전압 변환기(전기계 증폭기)에 의하여 이온 전류에 비례하여 전압으로 변환됩니다. Faraday 컵과 전기계 증폭기의 감도는 일반적으로  $K = 10^{-4}$  A/hPa의 순서입니다. 전류 증폭기의 입력 저항 R은 극단적으로 높아질 필요가 있습니다. 일반 배선 용량 C를 사용하면  $0.1 \text{ s} < \tau < 100 \text{ s}$ 의 범위에서는 시간 상수  $\tau = R \cdot C$ 가 됩니다. 시간 상수에 따라 측정 한계는  $1 \cdot 10^{-16}$ 과  $1 \cdot 10^{-14}$  A 사이이며, 따라서  $p_{min} = 10^{-10}$  hPa 순서의 최소 분압이 감지될 수 있습니다. 전체 압력이  $10^{-8}$  hPa 이하인 UHV 시스템에서는 이런 일이 보통입니다.

질량 분석기와 잔류 기체 분석

자체의 단순하고 튼튼한 설계 이외에도 Faraday 감지기는 장기 안정성과 고온을 견디는 능력이 특징입니다. 시간 상수를 작게 유지하고 다른 간섭 효과를 피하기 위하여 전기계 증폭기가 분석기에 직접 연결되고 자체 출력 신호가 데이터 분석 시스템에 직접 공급됩니다. 이것이 Faraday 컵이 파이프 배움 진공 질량 분석기에 존재하는 이유이기도 합니다. 그러나 이것은 양이온 탐지에만 적합합니다.

극단적으로 작은 이온 전류가 측정될 경우 또는 극단적으로 높은 측정 속도가 요구될 경우, 물리적 전치 증폭기가 소위 1차 전자 증배기가 사용됩니다.

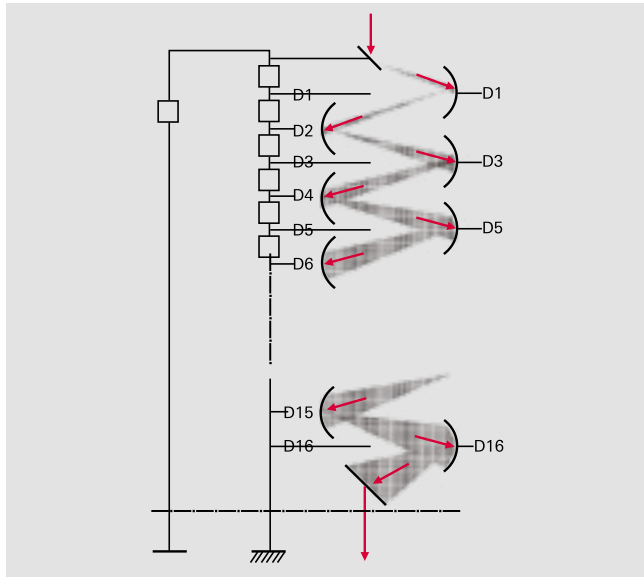


그림 6.16: 2차 전자 증배기(SEM)

**2차 전자 증배기(SEM)**

Figure 6.16은 이 증배기(SEM = 2차 전자 증배기)의 일반적인 구조를 보여줍니다. 실린더형 모양의 판금 조각들(다이노드)은 낮은 수준의 전자 작업 기능이 가능한 층으로 코팅되어 있습니다. 이온 또는 전자는 자체 운동 에너지에 따라 이 층에 부딪힐 때 다수의 2차 전자를 생성합니다. 다중 단계의 직

렬 연결은 단일 이온으로부터 무수한 전자를 생산하게 합니다. 약 100V의 양전압은 전자를 가속하기 위하여 다이노드 사이에 적용됩니다. 이런 배열의 기술적 실행은 개별 다이노드가 이 전압의 탭에 연결된 상태에서 저항 체인에 의하여 고전압(약 1,000 – 3,000V)을 공급함으로써 이루어집니다. 높은 양전압 막대는 빠져나가는 전자들을 대략적인 대지 전위에서 유지하기 위하여 접지됩니다. 이런 유형의 배열은 10<sup>7</sup>의 전류 증폭 인자를 생산합니다.

2차 전자 증배기는 Faraday 컵에 다음 이점을 제공합니다.

- 계기의 감도를 극도로 증가시켜 최대  $K = 10 \text{ A/hPa}$ 의 감도 증가를 허용합니다.
- 이것은 다운스트림 전기계 증폭기를 사용하여 더 짧은 간격으로 더 낮은 분압이 스캔될 수 있음을 의미합니다.
- 신호 대 잡음 비는 전기계 증폭기의 비보다 훨씬 더 높은데, 이는 감지 한계가 몇 단계 더 낮을 수 있음을 의미합니다. 이것은 더 낮은 압전류(잡음 수준)가 높은 증폭에서 도달될 수 있을 경우에만 적용됩니다. 자체의 감도 증가는 작은 값입니다.

그러나 SEM에도 다음과 같은 단점이 있습니다.

- 자체 증폭은 활성 층에서의 오염 또는 화학적 변화로 인해 바뀔 수 있습니다.
  - 충돌을 일으키는 전자(전환 인자)의 수(약 1~5개의 전자)는 이온 에너지(질량 판별)에 따라 다릅니다.
- 이런 효과의 결과로 증폭이 변화합니다. 결과적으로 SEM은 때때로 보정되어야 합니다. 증폭의 변화는 고전압을 수정함으로써 쉽게 조정될 수 있습니다. 전환 인자는 첫 번째 다이노드에 다양한 이온들의 에너지를 동일하게 만드는 개별 고전압을 공급함으로써 일정하게 유지될 수 있습니다.

2차 전자 증배기를 사용하면 매우 빠른 측정이 가능합니다. 표 6.2에서 볼 수 있듯이 측정 속도는 Faraday 컵을 사용할 때보다 훨씬 더 높습니다.

전류 증폭기로 작동하는 것 이외에도 개별 다이노드 SEM 역시 이온 계수기로 적합합니다. 이런 설정에서는 10개 당 1 이온이라는 매우 낮은 계수율에 도달할 수 있습니다. 높은 계수율도 가능하며, 전류 증폭기로서의 작동과 비교하면 매우 폭넓은 동적 범위를 만들어냅니다.

	PrismaPlus	SEM 217이 있는 HiQuad	SEM 218이 있는 HiQuad
감지기	Faraday / C-SEM	Faraday / SEM	Faraday / 전환 다이노드가 있는 SEM
Faraday 컵의 최대 압력	10 <sup>-3</sup> hPa	10 <sup>-4</sup> hPa	10 <sup>-4</sup> hPa
SEM, C-SEM의 최대 압력	10 <sup>-5</sup> hPa	10 <sup>-5</sup> hPa	10 <sup>-5</sup> hPa
최대 측정 속도 / u	2 ms	125 μs	125 μs
베이크 아웃 온도(최대)	300 °C	400 °C	400 °C
계수 작업	아니오	예(옵션)	예(옵션)
양이온의 탐지	예	예	예
음이온의 탐지	아니오	예	아니오

표 6.2: 감지기와 측정

계수 모드에서 SEM의 속도는 동적 범위의 상한을 제한합니다. 펄스 폭이 20ns일 경우, 비선형성은 초 당  $10^6$  이벤트의 계수율에서 시작합니다. 자체 펄스 폭이 주어지면 SEM은 계수기로 적합합니다.

모든 2차 전자 증배기가 공통적으로 갖고 있는 것은  $10^{-5}$  hPa 이하의 압력에서 작동되도록 제한되어 있다는 것입니다. 이보다 더 높은 압력에서는 다이노드의 물 층이 작동 시 열분해로 이어질 수 있고 따라서 때 이른 에이징을 촉진할 수 있습니다. 고전압이 관련됨으로써 SEM을 파괴할 수 있는 기체 방전이  $p > 10^{-5}$  hPa의 높은 압력에서 일어날 수 있습니다.

**연속 2차 전자 증배기(C-SEM)**

C-SEM(Figure 6.17)은 내부가 높은 저항 및 낮은 작동 기능을 가진 전도 층으로 코팅된 유리 튜브로 구성되어 있습니다. 튜브의 길이를 통과하여 균일한 전압 경도를 얻기 위하여 층에 고전압이 적용됩니다. 4중극자 시스템에서 발생한 이온은 전환 다이노드로 이동하여 튜브에서 전자 더미를 촉발하는 2차 전자를 생성합니다. 2,500V의 증폭 전압에서  $10^6$ 의 전류 증폭 인자에 도달합니다.

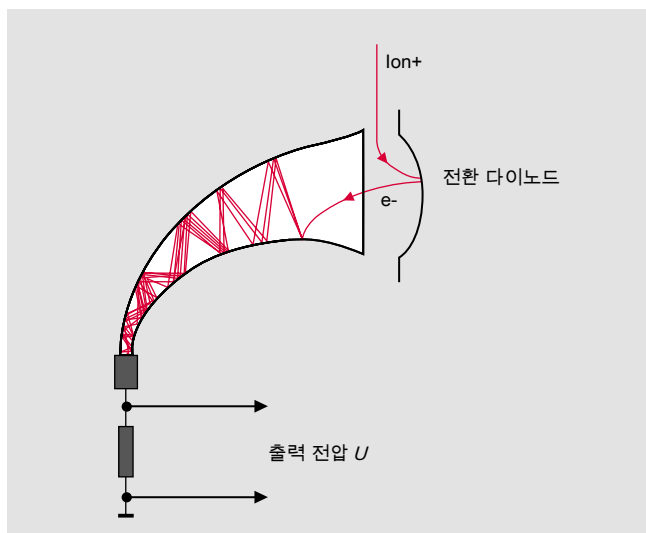


그림 6.17: 연속 2차 전자 증배기(C-SEM)의 작동 원리

여기서는 증폭과 암전류 역시 신호 대 잡음 비를 통제하고,  $10^6$ 의 최대 전류/암전류 비가 전류 증폭 인자입니다. 4중극자의 축과 비교해 가벼운 오프셋을 보이는 C-SEM 배열로 인해 Faraday 컵 뿐만 아니라 C-SEM도 다음에 서로 분석기에서 사용될 수 있습니다. 필요하면 감지기의 전환도 가능합니다.

**6.3.4 진공 시스템**

이온은 중성 기체 입자와의 충돌 없이 4중극자 필터를 통과할 수 있어야 합니다. 4중극자 질량 분석기의 작동을 위해서는  $p < 10^{-4}$  hPa의 압력에 도달하는 평균 경로 길이가 요구됩니다. 이것은 압력 모니터가 있는 적절한 펌핑 스테이션을 필요로 합니다. 최적의 감도를 가진 기체 분석을 수행하기 위해서는 낮은 기본 압력이 필요할 뿐만 아니라 잔류 기체에 장비의 벽에서 탈착되어 나오는 피할 수 없는 분압이 포함되어야 합니다. 이 유형의 잔류 기체 스펙트럼과 낮은 기본 압력은 터보 드래그 펌핑 스테이션으로 더 잘 도달됩니다(Figure 4.27). 추가적인 전체 압력 측정기는 질량 분석기가 과도하게 높은 압력에서 가압되지 않도록 보호합니다. 이런 시스템을 설정할 때는 부적합한 흐름 조건에서 시작되는 위조를 피하기 위하여 기체 유입구, 밸브, 펌프, 측정 계기의 적절한 배열에 주의를 기울여야 합니다. 높은 압력에서 작동하는 진공 공정의 과정 동안에는 측정 시스템을 환기시키는 개별 펌핑 스테이션이 종종 요구됩니다. 터보 드래그 펌프와 격막 펌프가 있는 소형 펌핑 스테이션이 이런 목적으로 사용됩니다.

**6.3.5 유입 시스템**

분석될 기체는 종종 대기압에서부터 질량 분석기(MS)의 작동 압력보다 더 낮은 압력으로 감소되어야 합니다. 질량 분석기로 모니터링되는 많은 진공 기술 공정은  $p > 10^{-4}$  hPa의 압력 범위에서 일어납니다. 4중극자 질량 분석기의 필수 요소는 따라서 특수 어플리케이션에 적합한 기체 유입 시스템입니다. 해당 압력 정도에 따라 다양한 압력 감소 절차가 사용됩니다.

기체 혼합물은 가능할 경우 디믹싱 없이 질량 분석기에 유입되어야 합니다.

- $p > 10$  hPa의 압력에서는 다운스트림 기체 유입 밸브를 사용하여 층류 흐름이 우세한 (가열 가능) 모세관에 의하여 압력이 감소합니다. 어떤 환경에서는 추가 펌프에 의한 압력 감소가 필수적입니다.
- $p < 10$  hPa의 압력에서는 터보분자 펌프를 사용하여 다르게 펌핑된 구멍 및 질량 분석기로 압력이 감소합니다.
- $p < 10^{-4}$  hPa의 압력에서는 질량 분석기가 개방형 이온 소스를 가진 공정 챔프로 직접 설치될 수 있습니다.

압력 감소를 위하여 구멍이 사용될 경우 자체의 기체 유형 의존 전도성은 펌프로 향하는 흐름 경로의 동등한 기체 유형 의존 전도성에 의하여 상쇄됩니다. 이는 QMS의 농도가 진정한 기체 구성을 반영함을 의미합니다.

질량 분석기와 잔류 기체 분석



유입 시스템	압력 범위	제품 예시	특성
압력 감소 없음	10 <sup>-12</sup> ~10 <sup>-4</sup> hPa	PrismaPlus QMG 220, HiQuad QMG 700	시스템에서 들어온 기체는 모두 이온화 부피로 표시되게 하는 개방형 구조 이온 소스
SPM 이온 소스	10 <sup>-9</sup> ~10 hPa	PrismaPlus SPM 220, HiQuad SPM 700	스퍼터 공정을 분석하기 위한 특수 이온 소스. 이 시스템은 압력 감소 없이 10 <sup>-2</sup> hPa의 스퍼터 압력에서 직접 기체를 분석합니다.
모세관 유입구	100~1,100 hPa, 모세관 길이와 다운스트림 구멍에 따라 달라짐	OmniStar, ThermoStar, 유입 시스템 GES 020 및 GES 010	차동 펌프 유입 시스템, 낮은 질량 판별, 변화하는 표본 압력에 부적합
구멍 유입	0.01~10 hPa, 구멍 직경과 관련	PrismaPlus HPA 220	직경 0.01~0.5mm의 구멍, 단순하고 튼튼한 설계, 질량 판별, 다양한 구멍 직경을 가질 수 있는 변화하는 유입구 압력, 빠르게 변화하는 기체 구성 성분에 부적합
도징 밸브	0.1~1.000 hPa	PrismaPlus HPA 220, 기체 도징 밸브 UDV 040, UDV 146	도징 밸브는 매우 폭 넓은 측정 범위에 대한 기체 유입에 적합하고, 차동 펌프 밸브 역시 빠르게 변화하는 기체 구성 성분의 분석을 허용합니다.
압력 조절 가능 기체 유입구	10 <sup>-3</sup> ~1,000 hPa	RVC 300이 있는 EVR 016 압력 조절 유입구가 있는 OmniStar	차동 펌프 유입 시스템, 조절 밸브가 있는 제어 루프와 압력 측정으로 구성, 비교적 큰 불감 부피, 느린 반응

표 6.3: 다양한 기체 유입 시스템과 그 속성

### 6.3.6 어플리케이션 주의사항

질량 분석기 분석은 진공 어플리케이션 만큼 다양합니다. 위에서 설명한 가열된 모세관이 있는 기체 유입 시스템은 최대 대기압의 압력 범위에서의 기체 분석을 위하여 사용됩니다. 기체 흐름은 진공 환경의 배경 잡음을 줄이기 위하여 기체 기

밀 이온 소스에 직접 운반됩니다. 기체 빔은 크로스 빔 이온 소스를 통과하여 지나가고, 빔은 진공 펌프 또는 트랩으로 빠져 나갑니다.

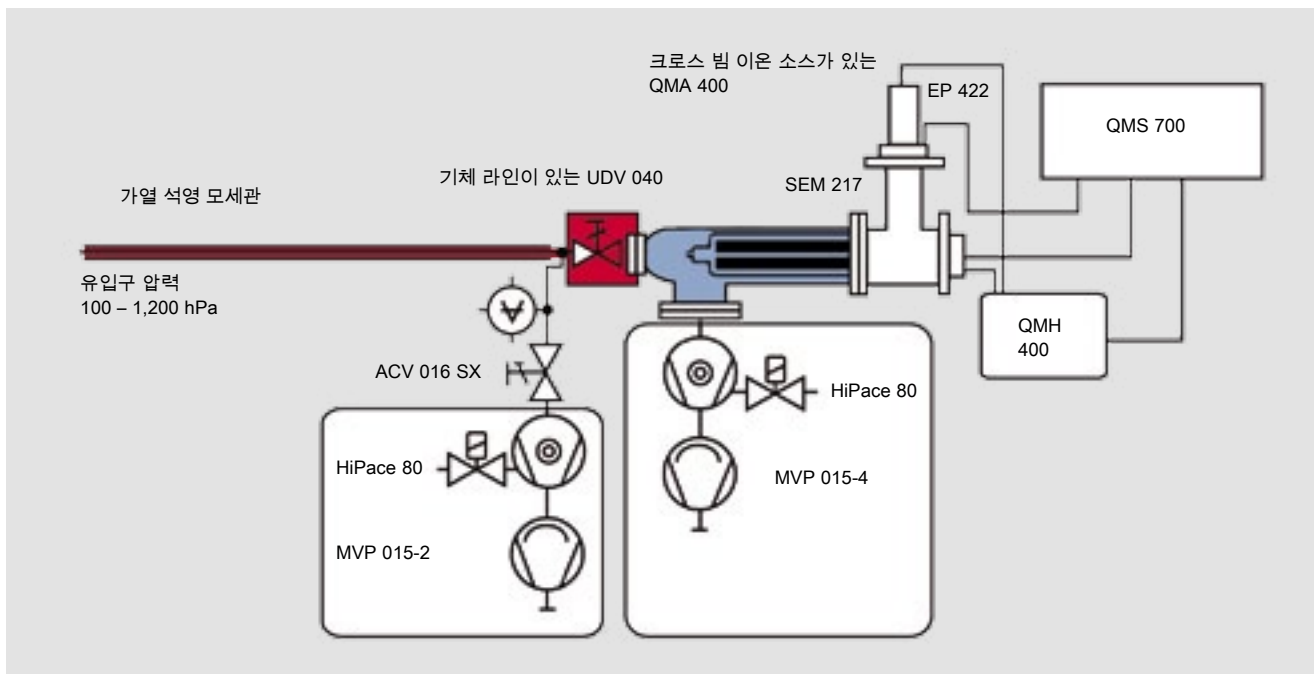


그림 6.18: 기체 유입 시스템과 크로스 빔 이온 소스가 있는 QMS

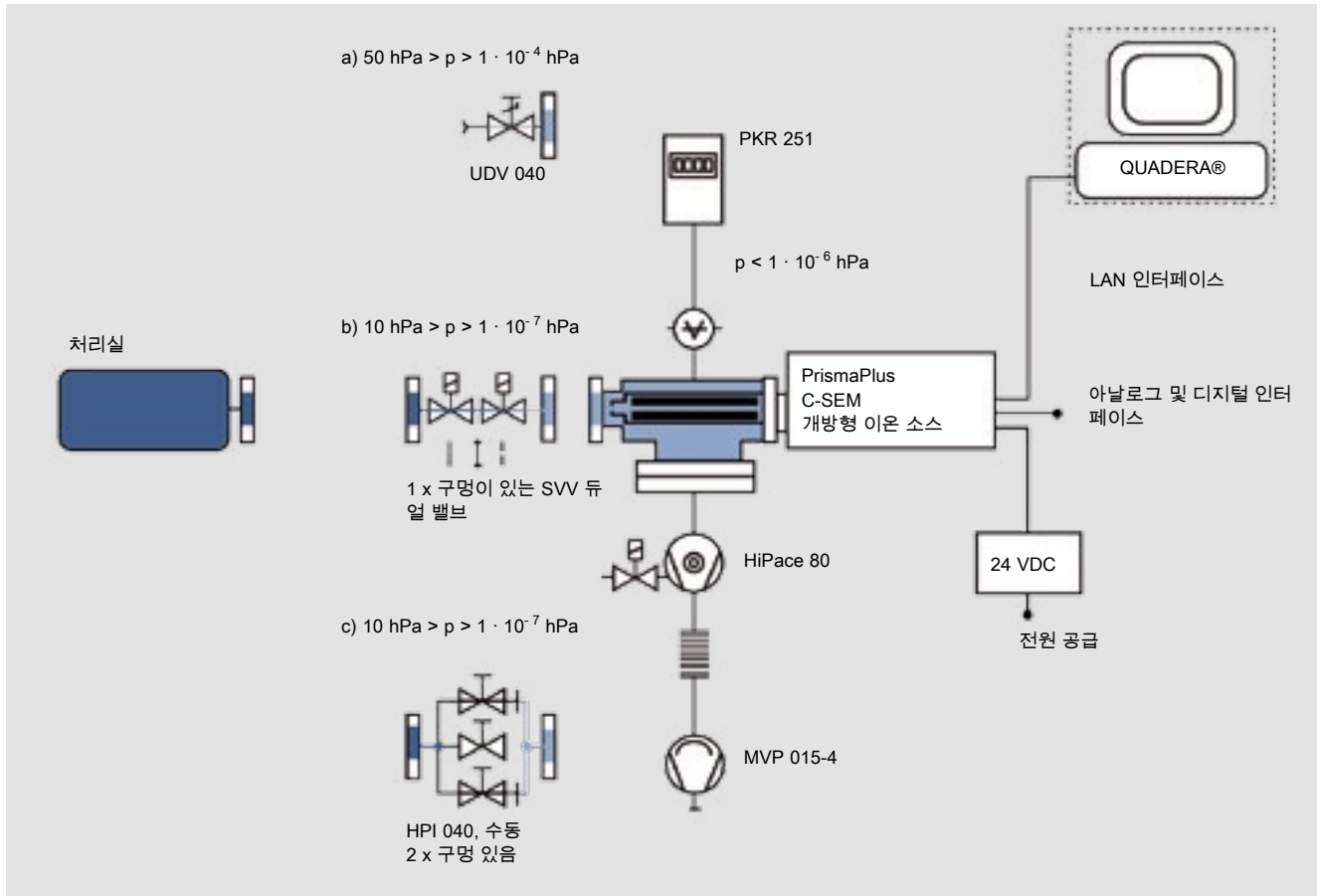


그림 6.19: 다양한 기체 유입구가 있는 자동 펌프 QMS

$p < 10 \text{ hPa}$ 의 압력(식각, 스퍼터링 또는 다른 코팅 공정)에서는 구멍이나 밸브를 경유하여 기체가 질량 분석기로 유입됩니다. 터보 펌프는 압력 감소를 위하여 측정 시스템에 부착됩니다. 부식성 기체에는 특수한 버전들이 있습니다.

매우 낮은 압력에서는, 특히 UHV 범위에서는, 표면 영역이 특히 작아서 탈기체율이 낮은(그리드 이온 소스) 개방형 이온 소스가 사용됩니다. 기체 농도가 낮기 때문에 4중극자 축에 수직으로 배열된 2차 전자 증배기(SEM)가 감지기로 사용되어야 합니다. 신호 대 잡음 비를 개선하기 위하여 유입되는 중성 입자를 펌프 다운하는 터보 펌프가 SEM 맞은 편에 부착됩니다.

2차 이온 질량 분광 분석(SIMS)은 특별한 경우를 보여줍니다. 이 공정에서 이온은 교대로 양전하 또는 음전하 2차 이온을 방출하는 표면에 투사됩니다. 이 이온들은 이온 소스 없는 QMS에 의하여 직접 감지됩니다. 앞 섹션에서 설명된 측정 배열은 이 경우에도 사용됩니다.

### 6.4 포트폴리오 개요

파이퍼 베콤은 다음 두 가지 기본 질량 분석기 모델을 제공합니다.

- 6mm 직경 봉 시스템 및 100mm 길이의 소형 PrismaPlus
- 8mm 및 16mm 질량 필터 및 300mm 길이의 고해상도 HiQuad

#### PrismaPlus

전체 전자 제품이 분석기에 부착되어 베이크 아웃 시 제거 가능한 소형 장비입니다. PrismaPlus는 다음 기능을 제공합니다.

- 100, 200 및 300 u의 질량 범위
- Faraday 컵과 C-SEM을 감지기로 사용 가능
- 다양한 이온 소스 및 필라멘트 장착 가능
- 분석기는 최대 300°C에서 베이크 아웃될 수 있습니다.

PrismaPlus는 표준 장비로 사용되며, 모듈 및 분석 시스템으로 통합될 수도 있습니다.

#### HiQuad

최고의 정확도를 제공하며, 다음 기능을 갖고 있습니다.

- 질량 범위가 1-16 u, 1-128 u, 1-340 u, 1-300 u, 1-512 u, 1-1,024 u 및 1-2,048 u로, 다양한 모델에 사용됨
- 다양한 질량 필터가 있으며, 질량 필터의 봉 직경과 재료는 6mm, 8mm 몰리브덴, 8mm 스테인레스강, 16mm 몰리브덴입니다.

질량 분석기와 잔류 기체 분석

- 위에서 설명한 이온 소스 중 실제로 모든 것이 분석기와 결합될 수 있습니다.
- 양이온과 음이온 둘 다 뿐만 아니라 중성 입자를 분석하기 위한 이온 광학(SIMS)이 있습니다.
- 이온 계수기 뿐만 아니라 모든 유형의 감지기(예: Faraday 컵, Faraday 컵과 SEM, Faraday 컵과 C-SEM)가 다양한 배열로 사용 가능합니다.
- 이 질량 분석기는 입력/출력 모듈의 도움이 있으면 분석 시스템에 통합될 수 있습니다.

**모듈**

모듈은 특수 공정 모니터링, 또는 다음과 같이 다양한 기체 유입 시스템이 장착되어 있으면서 분석기를 환기시키기 위한 건식 터보 드래그 펌핑 스테이션에 부착되어 있는 기체 분석 장비입니다.

- HPA 220 고압 분석기, PrismaPlus를 기초로 함 최대 50hPa의 공정 압력, 수동 및 자동 기체 유입 시스템 사용 가능
- SPM 220 스퍼터 공정 모니터, PrismaPlus를 기초로 함 다양한 기체 유입 옵션을 통하여 최대  $10^{-2}$  hPa 또는 10 hPa의 압력
- SPM 700 스퍼터 공정 모니터, HiQuad를 기초로 함. SPM 220과 동일한 공정 압력.
- EPD 700은 기체 상에서 식각 시 그리고 HiQuad를 기초로 한 양이온 탐지에 사용됩니다. 공정 압력은 최대  $10^{-2}$  hPa입니다.

**벤치 톱 질량 분석기**

파이퍼 베콤은 대기압에서 PrismaPlus를 기초로 하여 기체를 분석하는 완벽한 시스템을 갖고 있습니다. 최적 기체 유입 시스템은 최대 감지 감도를 얻기 위하여 폐쇄형 이온 소스를 사용합니다.

- **OmniStar** GSD 320 O는 대기압에서 가열 및 온도 규제 기체 유입 시스템과 함께 정량 기체 분석을 위하여 사용됩니다.
- **ThermoStar** GSD 320 T는 열중량 분석기와 짝을 이루도록 설계되었습니다. 고온의 기체 표본들은 석영 모세관을 따라 유입될 수 있습니다. 불활성 석영 표면은 표면 반응을 방지하고 따라서 측정 결과의 위조를 막아줍니다.

이런 장비들과 그 요소들은 분석되어야 할 물질들(증발 또는 에어로졸)의 업스트림 처리 또는 보정 중인 기체 혼합물에 자동 보정 제공과 같은 광범위한 추가 기능을 가질 수도 있는 완벽한 장비에 OEM 고객들에 의해 설치됩니다.

**6.4.1 파이퍼 베콤의 이점  
질량 분석기**

파이퍼 베콤 이온 소스의 전위 곡선은 Figure 6.20에 나와 있습니다. 가열된 전자 방출 음극은 약 20V의 전위를 갖고 있습니다. Wehnelt 전극은 일반적으로 음극의 양극에 연결되어서 전자가 이온 소스의 접근 시 산란되는 것을 막아줍니다. 80V의 양극 전위  $V_2$ 에 대한 효과적인 필라멘트는 전자를 형성 영역으로 가속하고(100V), 거기서 전자는 들어오는 중성 기체 분자들을 이온화합니다. 이온들은 -150V의 전위  $V_5$ 에서 구멍을 통하여 가속되었다가, 집속 전극에 의하여  $V_3 = 80V$ 로 다시 감속됩니다. 주입 구멍은 이온이 매스 킬어에 들어가기 전에 다시 한 번 이온을 가속하고, 약 15eV(형성 영역과 필드 축의 차이)의 에너지에서 필드 축 전위  $V_4 = 85V$ 로 감속됩니다.

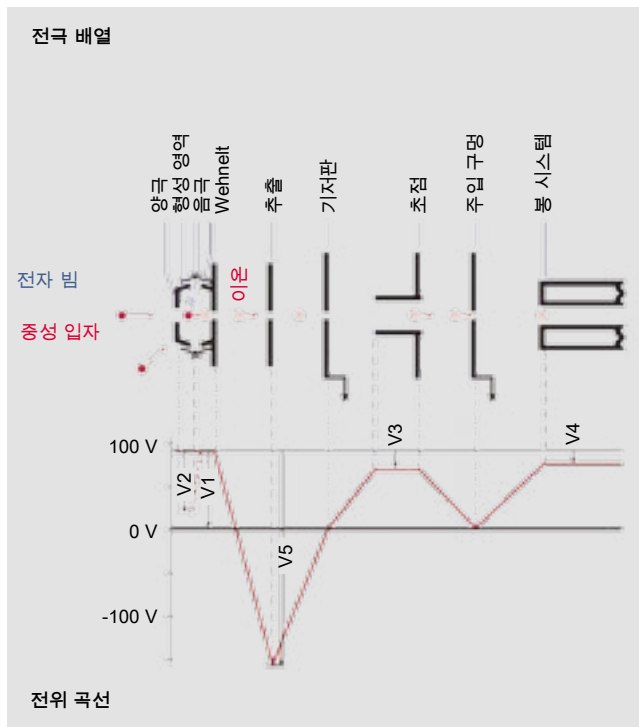


그림 6.20: 전기적으로 편향된 이온 소스의 전위 곡선

파이퍼 베콤 PrismaPlus 및 HiQuad 질량 분석기는 위에서 설명한 것처럼 전기적으로 편향된 이온 소스와 필드 축 기술이 특징입니다.

**전기적으로 편향된 이온 소스**

많은 4중극자 질량 분석기에서 음극은 접지되어 있거나 음전위를 갖기도 합니다. 음극(필라멘트)은 방출된 전자를 형성 영역(양극)으로 가속하고, 방출된 전자들은 그곳에서 중성 기체 입자들을 이온화하고, 기체 입자들은 그 다음에 매스 필터로 추출됩니다. 그러나 이런 필드 조건에서 전자들은 진공 상태의 다른 표면에 접촉할 수도 있고, 그곳에서 EID(전자 충격 탈착) 이온을 생성합니다. 이것은 바람직하지 않은 배경 잡음을 낳고 챔버에 고밀도 표면들이 있을 경우 필라멘트가 가압될 때 상당량의 기체 탈착을 유발할 수 있습니다.

파이퍼 베콤 이온 소스는 양전위(약 100-150V)를 갖고 있습니다. 여기서 방출된 전자는 더 낮은 전위(예: 접지)를 가진 모든 표면에서 거부되어 간섭하는 EID 이온의 생성을 피하기 위하여 이런 표면에서 멀리 유지됩니다.

**필드 축 기술**

이온 소스에서 형성된 이온들은 높은 운동 에너지에서 매스 필터로 가속됩니다. 그 결과 이 이온들은 주변 또는 RF 프린징 자장의 영향을 받을 수 없기 때문에 초기에 높은 에너지에서 매스 필터 쪽으로 이동합니다. 이온을 4중극자 필드로 주입하기 위한 이상적인 조건은 심지어 사전 필터의 사용을 요구하는 다른 질량 분석기와 달리 사전 필터 없이 이런 방식으로 도달됩니다. 매스 필터 자체는 필드 축 전압에 적절히 편향되어 있으며, 이것은 필터로 들어갈 때 약 15eV의 운동 에너지로 이온을 다시 감속합니다. 필드 축 전압이라 불리는 이 에너지와 이온 질량은 이온의 속도를 그 다음엔 매프 필터에서의 비행 시간을 결정합니다. 따라서 유리한 주입 조건은 폭넓은 질량 범위에 대하여 매스 필터를 통한 높은 이온 전송을 유발하며, 그래서 전체 시스템의 높은 감도를 보장합니다.

**2차 전자 증배기의 직각 배열**

파이퍼 베콤 질량 분석기의 추가 이점은 필터 측에 비해 90° 오프셋 되어 있는 2차 전자 증배기(SEM)의 배열입니다(90° 탈축 SEM, 그림 6.21 참조).

SEM이 매스 필터 위에서 축 방향으로 배열되어 있을 경우, 모든 총돌 입자들(중성 입자, 이온, 전자, 광자)은 2차 전자를 생성하여 배경 신호에 기여합니다. 이를 방지하기 위하여 필터에서 배출되는 이온들은 90°로 변류되어 SEM의 첫 번째 다이노드로 가속됩니다. 중성 입자와 광자는 전기적 변류 유닛에 의하여 변류되지 않으며, 전자는 이온보다 훨씬 더 크게 변류됩니다. 이것은 필터를 통과하도록 허용되는 거의 모든 이온들이 SEM에 부딪치고, 이것이 신호 대 소음 비를 더 크게 한다는 것을 의미합니다.

극소수의 특별 모델과는 달리 모든 HiQuad 분석기엔 이 기술이 장착되어 있습니다.

PrismaPlus에서는 축 방향 C-SEM이 전류 증폭기로 제공됩니다. 이 경우에서도 매스 필터에서 배출되는 이온들은 C-SEM을 향하여 약간 변류되어 바람직하지 않은 입자들로부터 분리됩니다.

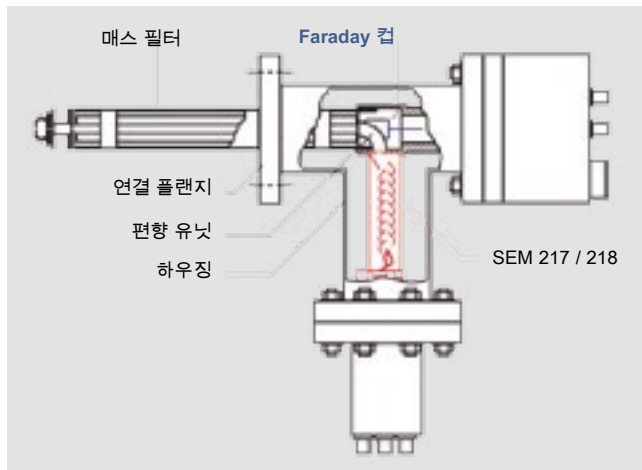


그림 6.21: 90° 탈축 SEM

**질량 판별**

전환 다이노드에 부딪치는 가 이온에 대해 생성되는 2차 전자의 수는 이온 질량, 에너지, 이온 유형(전자 또는 분자 이온)에 따라 달라집니다. 전환률은 질량과 관계가 있습니다. 이 효과는 질량 판별이라 불리며, C-SEM을 사용할 때보다 개별 설계된 SEM을 사용할 때 더 작습니다. 질량 판별은 이온이 전환 다이노드에 부딪치기 전에 이온을 높은 에너지로 가속하면 감소될 수 있습니다.

**요약**

사전 선택된 질량 해상도와 함께 폭 넓은 질량 범위에 대한 최대 가능 전송을 달성하기 위해서는 기계적으로 정밀한 필터 뿐만 아니라 안정적인 RF 공급이 모두 필요합니다. SEM의 “90° 탈축” 배열 뿐만 아니라 적절하게 선택된 필드 축 기술을 가진 편향된 이온 소스는 신호 대 잡음 비를 크게 개선합니다. SEM 또는 C-SEM의 질량 판별은 고전압이 적용되는 전환 다이노드의 도움으로 감소될 수 있습니다.

4중극자 질량 분석기는 다음 속성을 가진 다른 설계와 다릅니다.

- 소형 치수 및 경량
- 질량과 RF 전압 진폭 사이의 선형 관계
- 높은 감도
- 커다란 신호 대 잡음 비
- 높은 측정 속도와 반복률
- 폭 넓은 동적 범위(최대 10디케이드)
- 모든 장착 방향
- 자기장 간섭 없음

이런 이점이 있는 4중극자 질량 분석기는 가장 널리 사용되는 질량 분석기가 되었습니다.

**6.4.2 데이터 분석 시스템**

4중극자 질량 분석기는 PC에서 디스플레이 및 저장에 이상적인 짧은 시간 이내에 많은 양의 정보를 제공합니다. 이것은 파이퍼 베콤 진공 질량 분석기의 전기 제어가 가장 기본적인 제어 및 디스플레이 요소를 갖고 있는 이유입니다. QUADERA® 소프트웨어는 PC에서의 디스플레이, 분석, 저장 뿐만 아니라 제어 목적을 위하여 사용됩니다.

파이퍼 베콤의 QUADERA® 질량 분석기 소프트웨어는 PrismaPlus 및 HiQuad 장비와 함께 사용하기 위한 모듈 체계입니다. PC는 이더넷을 경유하여 질량 분석기와 소통할 수 있는데, 이는 분광 분석기와 컴퓨터를 연결하는 케이블이 중요하지 않음을 의미합니다.

특정한 측정 업무를 수행하기 위하여 PC는 질량 분석기에 매개변수 기록을 전달하여 장비를 설정합니다. 측정 중 또는 이후에 판독된 데이터는 컴퓨터로 전송되며, 컴퓨터에서 분석, 디스플레이 또는 저장될 수 있습니다.

일반적인 디스플레이 방식은 다음과 같습니다.

- 조정 가능한 질량 범위를 가진 질량 스펙트럼, 농도에 대한 선형 또는 대수적 척도의 축
- 시간 순서로 된 분압의 트렌드 디스플레이
- 데이터의 양을 줄여주는 막대 그래프

잔류 기체 분석 또는 누출 감지와 같은 일반적인 측정 업무는 사전에 프로그램되어 있으며, 마우스 클릭으로 시작될 수 있습니다.

양적 분석이 수행되어야 할 경우, 질량 분석기는 사전에 조정되어야 합니다. 여기에 후속 양적 분석을 사용한 보정과 같은 순환 공정이 포함될 경우, 이 공정들은 VSTA(Visual Studio Tools for Applications)를 사용하여 프로그램될 수 있습니다. 프로그래밍 기술은 요구되지 않습니다. 사전 제작된 모듈이 이 목적으로 사용 가능하기 때문입니다.

복잡한 측정 업무를 해결하기 위해서는, 자주 발생하는 여러 가지 기체 및 구성품에 대한 조각 이온 분배를 포함하는 라이브러리가 QUADERA® 소프트웨어에서 사용 가능합니다. 그러나 분광 라이브러리에서 얻은 이런 및 다른 분배는 가이드 라인 값으로만 볼 수 있습니다. 왜냐하면 이것들은 이온화 에너지, 온도 또는 질량 분석기의 전송 특성과 같은 다양한 매개변수의 영향을 받기 때문입니다.

다중 기체 구성 성분을 포함한 혼합물을 분석할 때 동일한 질량 수에서 다른 기원의 이온 전류를 겹치는 문제가 종종 발생합니다. 감도가 단일 기체 구성 성분에 의하여 독점적으로만 들어지는 질량 수(예: 질량 수 40의 아르곤, 질량 수 32의 산소, 질량 수 44의 이산화탄소, 질량 수 18의 물)가 있습니다.

다른 질량 수의 경우, 감지된 이온 전류의 전체 감도는 서로 다른 기체 구성 성분으로 다양한 농도의 조각 이온 겹치기에 의해 조절됩니다. 분석되어야 할 기체 혼합물의 구성 성분과 농도비에 따라, 적합한 알고리즘과 보정 절차가 해당 측정 업무를 위해 구성되어야 합니다. 각 구성 성분이 겹치지 않는 적합한 보정 기체 혼합물을 적용하여 양적 기체 분석을 수행하기 전에, 각 단일 기체 구성 성분에 대한 보정 인자가 모든 겹쳐진 질량 수에 대해 결정되어야 합니다. 이런 기체들의 농도 및/또는 분압은 그런 다음에 행렬 연산에 의해 결정될 수 있습니다. QUADERA® 질량 분석기 소프트웨어는 행렬 연산을 수행하고 필요한 기체 지정 보정 루틴을 제공합니다.

# 7 누출 감지

## 7.1 일반

### 7.1.1 누출과 누출 감지

비파괴 테스트에서 누출은 한 개의 구멍, 한 개의 기공 면적, 한 개의 침투 가능 기체 영역 또는 압력이나 농도의 차이로 인해 기체가 벽의 한 쪽에서 다른 쪽으로 빠져나갈 수 있는 테스트 표본 벽에 있는 한 개의 다른 구조로 제한됩니다[33]. 더 간단하게 표현하면, 누출은 기체나 액체가 더 높은 압력 측면에서 더 낮은 압력 측면으로 흐르는 작은 구멍입니다. 구멍의 기하학은 알려져 있지 않습니다. 이는 누출이 매끄러운 벽의 동근 파이프에서 발생하는지 아니면 균열이나 틈새의 형태에서 발생하는지를 테스트가 알아내지 못함을 의미합니다. 가정과 연산은 이상적인 기하학에 대해서만 만들어질 수 있습니다. 누출 채널의 실제 기하학은 보통 알려져 있지 않기 때문에 연산된 값만이 누출률에 대한 상한으로 가정될 수 있습니다. 주의: 유럽 표준 DIN 1330-8은 이전에 사용했던 용어 "누출률"을 나타냅니다. 당사는 판독성을 위해 이 책에서 "누출률"이라는 더 일반화된 용어를 계속 사용할 것입니다.

누출은 수도꼭지에서 물방울이 떨어지는 것과 같은 무해한 누출일 수가 있습니다. 공격적인 매개체나 독성 물질의 누출을 포함하는 누출은 더 심각한 결과에 이를 수 있습니다. 미국 우주선 챌린지호가 1986년에 겪은 사고 역시 고체 연료 로켓의 오링 고장과 뜨거운 연소 기체의 누출 때문이었습니다.

누출이 일어나면 기술 제품은 작동하지 않거나 상당한 기간 동안 기능하지 않습니다.

이런 예에는 다음이 포함됩니다.

- 냉장고의 냉장 순환 체계
- 자동차의 공기 조절 체계
- 자동차 타이어
- 자동차 연료 탱크 또는 가열 오일 탱크
- 화학 또는 제약 산업의 처리 시스템.

많은 경우, 생산 공정에서 기계 및 시스템의 누출 기밀은 제조된 제품의 품질에 필수 불가결한 전제 조건입니다.

누출에 대한 원래의 정의로 되돌아가면, 물질이 벽을 통해 흐르는 것을 완전히 방지하기란 불가능하다는 것을 알게 됩니다. "단단한"이라는 용어는 따라서 각 기계, 시설 또는 용기의 요구조건을 나타내며, 그에 따라 정량화되어야 합니다.

### 7.1.2 누출률

부피가 4리터인 자전거 튜브를 생각해봅시다. 이 튜브는 3bar(3,000hPa)의 압력까지 팽창되었으며, 추가 팽창이 없으면 30일 후에 최대 1bar(1,000hPa)의 압력 손실을 겪게 됩니다.

누출률은 이미 1.3.3: (공식 1-35)에서 정의되었습니다.

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot V}{\Delta t}$$

$Q_L$	누출률	[Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$\Delta p$	측정 기간 동안 압력 변화	[Pa]
$V$	부피	[m <sup>3</sup> ]
$\Delta t$	측정 기간	[s]

예를 들면, 부피가 1 cubic meter인 어떤 용기의 누출률은, 내부 압력이 1초 이내에 1 Pa 증가 또는 감소할 경우, 1 Pa m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>입니다. 다른 단위계로 전환하려면 표 1-8 또는 당사의 앱을 참조하십시오.

자전거 튜브 값을 입력하면 허용 가능 누출률이 나오고,

$$Q_L = \frac{1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{30 \cdot 24 \cdot 3.600 \text{ s}} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$$

이 누출률을 가진 자전거 튜브는 충분히 단단히 조여졌음을 알게 됩니다. 이런 종류의 누출률은 잘 알려진 거품 테스트 방법을 이용하여 구할 수 있습니다(Figure 7.1).

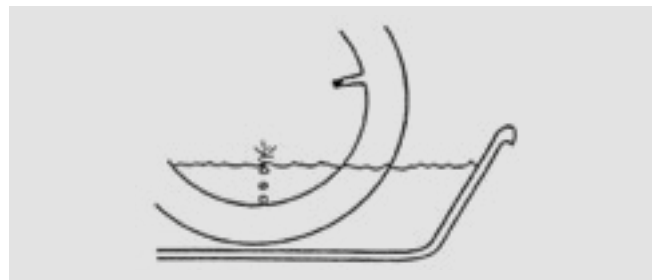


그림 7.1: 자전거 튜브의 거품 누출 테스트

이제는 10년 동안 10g의 냉각제 손실이 허용되는 냉장고에 대해 생각해봅시다. 당사에서 사용하는 냉각제는 분자량이 102g mol<sup>-1</sup>인 R134a (1,1,1,2-테트라플루오로에탄)입니다. 따라서 허용 가능 손실은 약 224 Pa m<sup>3</sup>입니다. 이 경우 허용 가능 누출률은 다음과 같습니다.

$$Q_L = \frac{224 \text{ Pa m}^3}{10 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3.600 \text{ s}} = 7,1 \cdot 10^{-7} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$$

이런 종류의 누출률은 예를 들면 질량 분광 분석 및 대기 존재하지 않는 테스트 기체를 사용하는 매우 민감한 측정 방법을 사용하여 위치 측정 및 정량화가 가능합니다.

### 7.1.3 추적 기체

누출률에 사용되는 테스트 기체(추적 기체라 불리기도 함)는 다음 조건을 충족시켜야 합니다.

이 기체는

- 인간, 동물, 환경에 비독성이어야 합니다.
- 공기를 대체해서는 안 됩니다. 그렇지 않으면 질식과 같은 위험한 상황이 발생할 수 있습니다.
- 불활성이어야 합니다. 예를 들면 반응이 느려야 하고, 화학적으로 반응하거나 인화성이 있어서는 안 됩니다.
- 가능하면 공기 중에 존재해서는 안 됩니다. 주변 공기에서 가능한 한 최소 농도로 존재하는 기체를 사용해야만 최소 누출 감지가 가능합니다.
- 다른 기체와 오인되어서는 안 됩니다.
- 테스트 누출을 통해 정량화될 수 있어야 합니다.

추적 기체 헬륨은 이 모든 요구조건을 충족시킵니다. 불활성 기체인 헬륨은 화학적으로 반응할 수 없습니다. 5ppm의 헬륨만 주변 공기 중에 존재하기 때문에 최소 누출 감지를 가능하게 해줍니다. 헬륨은 공기보다 가볍기 때문에 건강 위험을 노출하지 않습니다. 특정한 감지는 질량 분광 분석이라는 더 민감하고 굉장히 선택적인 분석 공정을 사용할 경우 가능합니다(6.1장 및 7.2장 참조). 확산 누출 또는 흐름 누출로 설계된 상업적으로 사용 가능한 많은 테스트 누출이 있습니다.

위에서 설명한 기준은 거의 어떤 테스트 기체에 의해서도 충족되지 않으며, 질소 95%와 수소 5%의 혼합물인 형성 기체 95/5는 예외입니다. 공기와 폭 넓은 혼합 범위에서 폭발하는 가연성 수소는 혼합물이 폭발성이나 가연성이 아니고 따라서 테스트 기체로 사용하기에 안전한 정도로 희석됩니다. 동일한 질량 분광 분석 감지기가 수소에 대한 민감한 테스트로 사용될 수도 있습니다. 사용된 분석 기술에서 수소의 배경 신호가 더 높기 때문에 수소는 테스트 기체 헬륨과 동일한 감지 감도에 도달하지 않지만, 압력 감쇠 방법의 감지 감도를 훨씬 초과합니다.

## 7.2 추적 기체로 누출 감지

파이퍼 베콤은 추적 기체의 존재를 감지하기 위하여 질량 분석기와 석영 창 센서를 기초로 한 누출 감지기를 사용합니다. 질량 분석기는 기체 혼합물을 이온화하고 그들의 질량 대 전하 비를 기초로 하여 원하는 추적 기체를 분리합니다. 석영 창 센서는 석영 멤브레인을 통한 가벼운 기체의 선택적 침투를 기초로 합니다.

### 7.2.1 질량 분석기로 누출 감지기 설계

4중극자 질량 분석기의 작동 원리는 6.1.2장에 나와 있습니다. 이 유닛은 누출 감지 뿐만 아니라 잔류 기체 분석기나 공정 기체 분석기로 사용됩니다. 누출 감지를 포함하여 고압의 기체 혼합물을 분석하기 위한 유입 시스템은 6.1.2.5장에서 설명되었습니다. 4중극자 질량 분석기를 기초로 한 기체 분석 시스템은 다중 기체 누출 감지기로 사용될 수 있습니다.

섹터 질량 분석기의 작동 원리는 6.1.1장에 나와 있습니다.

그림 7.2에 나와 있는 누출 감지기의 분석기 셀은 10<sup>-4</sup> hPa 미만의 압력에서만 작동합니다. 누출 감지기에서 이 압력은 누출 감지기의 펌핑 시스템에 의해서만 생성되고 유지됩니다. 이것은 운전자의 개입을 전혀 요구하지 않습니다.

질량 분광 분석기가 있는 누출 감지기는 그림 7.3의 다이어그램에 나와 있는 것처럼 설계되어 있습니다.

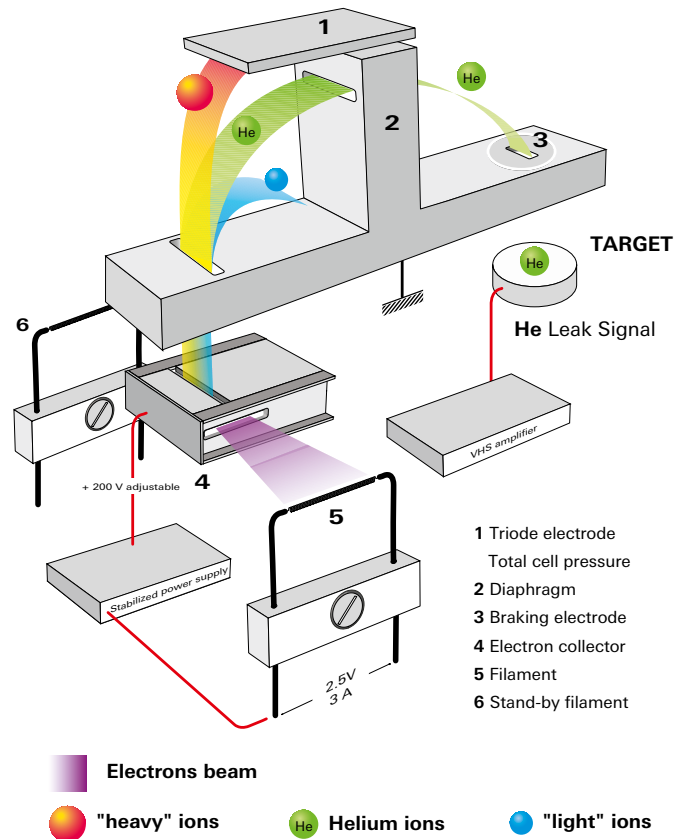


그림 7.2: 섹터 질량 분석기의 작동 원리

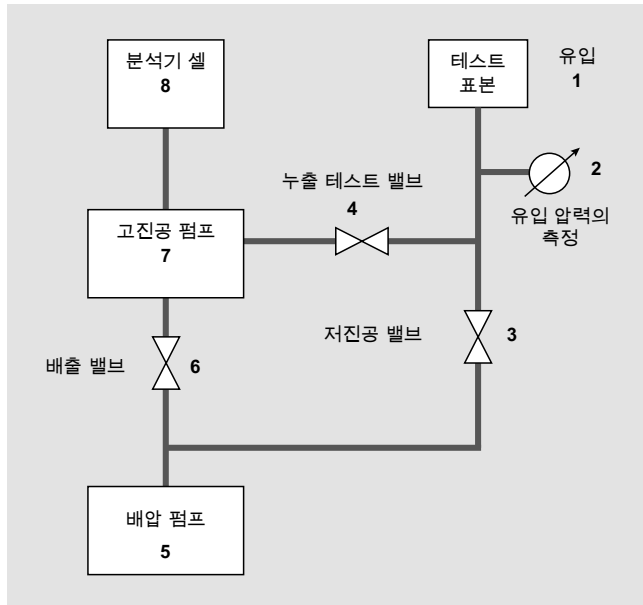


그림 7.3: 일반 누출 감지기 흐름 차트

질량 2, 3 및 4(테스트 기체  $H_2$ ,  $^3He$  및  $^4He$ 에 해당)에 대한 질량 분석기(분석기 셀(8))는 터보 펌프(고진공 펌프(7))의 유입구 플랜지에 부착되어 있습니다. 배압 펌프는 배기 밸브(6)를 통하여 터보 펌프를 환기합니다. 테스트 표본(DIN EN 1330-8에서는 “테스트 물체”라고도 언급됨)은 밸브(3)가 열린 상태에서 유입구를 통하여 환기됩니다. 밸브 (6)과 (3)은 터보 펌프의 요구되는 배압 진공 압력이 테스트 표본의 환기보다 우선시되는 방식으로 연결되어 있습니다. 테스트 표본은 환기된 후에 관련 압력 범위에 따라 배압 진공에 또는 밸브(4)를 경유하여 터보 펌프의 단간 펌프에 연결될 수 있습니다. 테스트 기체는 이제 외부에서부터 테스트 표본 위로 분무되어 누출을 통하여 주변 공기와 함께 테스트 표본으로 침투합니다. 잔류 기체 속에 존재하는 테스트 기체는 밸브 (3)과 (6)을 경유하여 터보 펌프를 통하여 펌프 방향과 반대로 분석기 셀로 흘러들어서 감지됩니다. 공기와 가벼운 테스트 기체 헬륨에 대한 터보 펌프의 다른 압축비는 몇 10승이나 다르기 때문에 이런 목적으로 이용됩니다.

터보 펌프의 높은 압축비로 인해 공기가 질량 분석기에서 멀리 떨어져 있는 동안 상대적으로 높은 분압일 때 가벼운 기체들이 그곳에 도달합니다. 따라서 터보 펌프는 헬륨과 수소를 위한 선택적 필터로 작용합니다. 이것이 질량 분석기를 사용하면 헬륨과 수소가 < 10 hPa(일부 장치의 경우 더 높음)의 압력에서 테스트 표본에서 감지될 수 있는 이유입니다. 몇 10승의 헬륨 분압과  $1 \sim 10^{-9} Pa m^3 s^{-1}$ 의 대응부의 누출률 범위는 압축비에 기하급수적으로 영향을 주는 다른 속도로 작동함으로써 뿐만 아니라 고진공 펌프(4)의 다양한 단간 펌프들에 의하여 포괄될 수 있습니다. 몇 십승의  $10^{-2} hPa$  범위의 압력은 누출 감지기의 가장 높은 감도 단계를 위한 주요 흐름(밸브 (4)를 경유하여 유입)에서 테스트 표본과 누출 감지기에서 도달되어야 합니다.

업스트림 터보 펌프로 인하여 질량 분석기는 항상 매우 낮은 전체 압력에서 작동되며, 따라서 오염 및 고장으로 부터 잘 보호됩니다.

### 7.2.2 석영 창 감지기로 누출 감지기 설계

질량 분광 분석 감지기가 자석 또는 전기장에서 분리 후 이온화에 의하여 기체 혼합물을 분리하는 동안, 석영 창 감지기는 기체의 다른 침투 속성을 사용합니다.

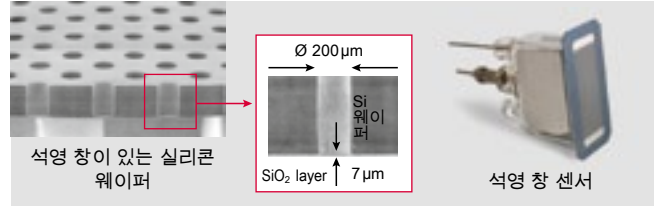


그림 7.4: 석영 창 센서의 작동 원리

추적 기체 혼합물은 가열된 격막의 석영 표면으로 운반됩니다. 석영 격막의 운반기 층은 들어오는 모든 기체 원자 및 분자가 이를 통하여 석영 격막에 도달할 수 있는 수천 개의 구멍을 가진 실리콘 웨이퍼로 구성되어 있습니다. 분리 자체는 헬륨은 허용하지만 다른 기체는 그것을 통과하도록 허용하지 않는 석영 격막에서 일어납니다. 격막의 두께와 온도는 헬륨 테스트 기체의 침투에 영향을 주는 인자들입니다. 기체가 격막을 통과한 후에 들어온 추적 기체는 이온화되고 이온 전류는 누출률의 척도가 됩니다.

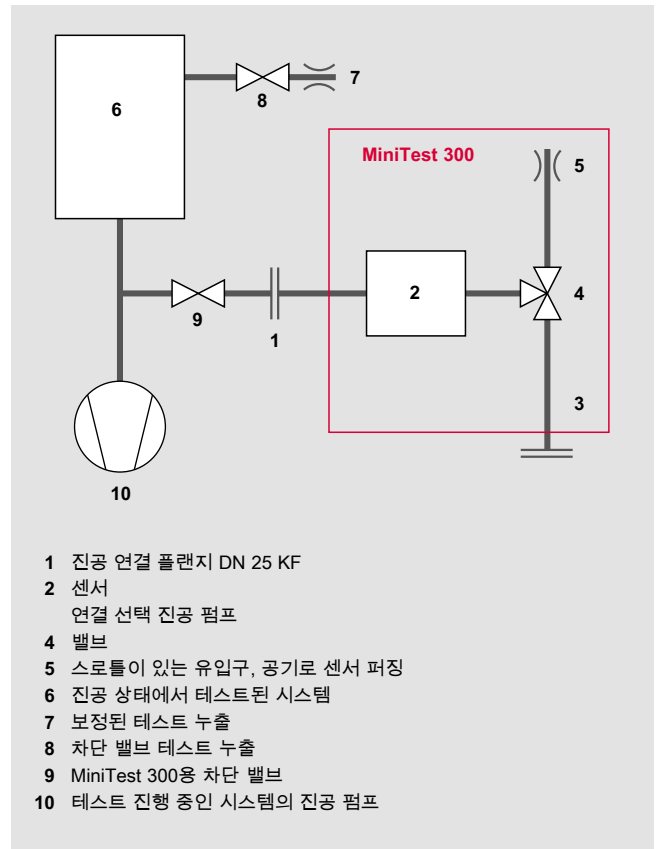


그림 7.5: 시스템의 MiniTest 석영 창 누출 감지기의 진공 격막

- 1 진공 연결 플랜지 DN 25 KF
- 2 센서 연결 선택 진공 펌프
- 4 밸브
- 5 스톱이 있는 유입구, 공기로 센서 퍼징
- 6 진공 상태에서 테스트된 시스템
- 7 보정된 테스트 누출
- 8 차단 밸브 테스트 누출
- 9 MiniTest 300용 차단 밸브
- 10 테스트 진행 중인 시스템의 진공 펌프



유닛은 진공 연결 플랜지(1)를 사용하여 테스트할 시스템(6)에 연결됩니다. 연결(3)은 추가 진공 펌프에 선택적으로 연결될 수 있습니다. 누출 테스트를 준비하기 위하여 이 펌프는 차단 밸브(9)가 여전히 닫혀 있는 동안 유닛의 진공 시스템을 환기할 수 있습니다.

테스트를 위하여 차단 밸브(9)가 열립니다. 선택적인 펌프는 더 높은 시스템 압력에서 센서의 반응 시간을 감소시키는 기체 흐름을 생성할 수 있습니다.

센서(2)는 진공 상태에서 헬륨의 분압을 측정합니다. 세스팀의 테스트 누출(7)은 반응 시간을 결정하고 유닛을 보정하기 위하여 사용됩니다.

센서를 보호하고 강한 신호 후에 유닛을 제거하기 위하여 자동 퍼징이 수행될 수 있습니다. 밸브(4)가 스로틀(5)과 함께 유입구를 열면 센서가 대기 공기와 함께 간단히 제거됩니다.

**7.2.3 테스트 방법**

누출을 감지하기 위하여 사용되는 테스트 절차는 테스트 표본의 유형과 요구되는 테스트 결과에 따라 달라집니다. 다음 기준은 표준 DIN EN 1779에서 구성됩니다[34].

- 테스트 표본은 과도한 압력에서 테스트됩니까 아니면 진공 상태에서 테스트됩니까?  
테스트 방법을 선택할 때 가능하면 테스트 표본이 실제로 사용될 때 얻어진 압력 경도를 고려하는 방법이 선택되어야 합니다.
- 테스트 표본의 부분 영역만 테스트됩니까, 아니면 전체 영역이 테스트됩니까?
- 누출을 발견하기 위해 사용되는 국부 누출 감지가 수행되어야 합니까, 아니면 일반적으로 품질 보증 목적을 위하여 테스트 표본의 누출률이 결정되는 전체 누출 감지가 수행되어야 합니까?

누출 감지기는 다음 두 가지 작동 방식을 위하여 장착됩니다.

- 진공 방식. 이 경우 테스트 표본이 환기되고 헬륨은 외부에서 영향력을 행사합니다.
- 스니핑 방식. 이 경우 공작물은 테스트 기체 초과 압력  $\Delta p > 100 \text{ hPa}$ 로 충전되고 빠져나가는 테스트 기체는 스니핑 밸브를 경유하여 누출 감지기로 흡입되어 감지됩니다.

**7.2.4 누출 감지기 보정**

누출 감지기는 누출률을 결정하기 위하여 보정되어야 합니다. 이것은 상업적 테스트 누출을 사용하여 행해지며, 상업적 테스트 누출은 제한된 조건 하에서 알려져 있고 재생 가능한 테스트 기체를 생성합니다. 상업적 테스트 누출은 테스트 기체 보유고가 있건 없건 침투 누출 또는 모세관 누출의 형태로 사용 가능합니다. 누출 감지기엔 대체로 헬륨 보유고가 있는 침투 누출이 장착되어 있습니다. 보정을 위하여 보정을 자동으로 수행하는 적절한 작업 사이클이 종종 내장되어 있습니다.

정밀한 측정을 위하여 유닛은 사용 전에 보정되어야 합니다. 추가 진공 펌프가 사용되는 커다란 테스트 표본을 테스트하

기 위해서는 외부의 테스트 누출을 사용하는 것이 바람직합니다. 측정 정확도는 테스트 누출이 어디에 부착되어 있느냐에 따라 달라질 수 있습니다. 결과적으로 진공 영역 내의 흐름 조건을 고려하는 것이 필요합니다. 외부 테스트 누출의 사용은 또한 최대 반응 시간을 결정하는 데에 유용합니다.

**7.2.5 국부 누출 감지**

국부 누출 감지는 테스트 표본의 누출을 확인하기 위하여 사용됩니다.

진공 방식에서 테스트 표본(용기)은 누출 감지기에 연결되고, 헬륨은 스프레이 건을 사용하여 의심 영역 위에 간단히 분무됩니다. 테스트 표본의 압력이 분자 흐름 범위에 있을 경우(예:  $< 10^{-3} \text{ hPa}$ ), 테스트 속도는 테스트 표본의 속도와 헬륨에 대한 테스트 설정의 효과적인 펌프 속도에 따라 달라집니다. 테스트 표본이 작을수록 또는 사용된 누출 감지거나 보조 펌프의 속도가 빠를수록 결과는 더 빨리 얻어집니다. 더 높은 압력에서 특히 1 hPa 이상의 종류 흐름 범위에서, 디스플레이 속도는 훨씬 더 느려지고 누출 감지기의 배압 펌프의 펌프 속도에 의해 좌우됩니다.

Figure 6의 스니핑 방식에서 테스트 표본(3)은 테스트 기체 초과 압력으로 충전됩니다. 스니핑 프로브(2)는 누출 감지기의 테스트 기체 연결에 연결됩니다. 테스트 표본에서 누출을 통하여 빠져나가는 테스트 기체는 프로브를 사용하여 스니핑함으로써 감지될 수 있습니다.



그림 7.6: 스니핑 방식과 진공 방식을 사용한 국부 누출 감지

개별 누출은 국부 누출 감지를 사용하여 확인될 수 있습니다. 그러나 모든 누출의 합계는 결정될 수 없습니다. 그것이 이 공정이 품질 보증 목적을 위하여 GO / NO GO 표시장치를 제공하는 데 대하여 제한된 적합성만을 제안하는 이유입니다.

	스니핑 누출 감지	진공 누출 감지
방법	테스트 스니핑 기체 충전된 테스트 물체	헬륨으로 분무
기계적 강도	초과 압력에 대한	진공에 대한 외부로부터의 대기압에 대한(차압 1000 hPa)
감지 한계	$< 1 \cdot 10^{-8} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$	$< 5 \cdot 10^{-13} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$

표 7.1: 스니핑 방식과 진공 방식을 사용한 국부 누출 감지

### 7.2.6 전체 누출 감지

전체 누출 감지는 전체 누출률 즉 테스트 표본의 모든 누출의 전체 누출률을 결정하기 위하여 사용됩니다. 여기서도 진공 방식과 스니핑 방식이 사용될 수 있습니다.

전체 진공 방식(DIN EN 1779를 따르는 방식 A1, Figure 7.7 오른쪽)에서는 테스트 표본(예: 진공 시스템)이 환기되고 주변 공간이 제한된 양의 테스트 기체로 충전됩니다. 주변을 에워싸는 것은 플라스틱 필름 또는 견고한 용기가 될 수 있습니다. 누출 시 테스트 기체의 농도에 대한 결론이 나오도록 하기 위하여 또 신뢰할 수 있는 정량적 결론에 도달할 수 있도록 하기 위하여 테스트 표본이 제한된 양의 테스트 기체에 노출되는 것이 중요합니다.

에워싸인 테스트 물체를 테스트(DIN EN 1779를 따르는 방식 B6, Figure 7.7 왼쪽)할 때 테스트 표본은 헬륨으로 충전되어 인케이싱 진공 용기 속에 놓여집니다. 빠져나가는 테스트 기체는 누출 감지기에 의하여 확인되고 정량화됩니다.



그림 7.7: 진공 방식을 사용한 전체 누출 감지

스니핑 방식에서 테스트 표본은 테스트 기체(DIN EN 1779를 따르는 방식 B3, Figure 7.8)로 충전되어 에워싸는 용기 속에 놓여집니다. 이전에 설명된 방식과는 반대로 이 용기는 환기를 필요로 하지 않고 대기압 상태에서 유지할 수 있습니다. 이것은 이전에 설명된 방식에서처럼 덜 엄격한 요구조건이 장치에 적용됨을 의미합니다. 빠져나가는 기체는 에워싸는 셀에 수집되어 테스트 기체의 균일한 농도가 분석 챔버에 존재한다는 것을 보장하기 위하여 테스트(예: 팬 사용) 동안 잘 혼합될 필요가 있습니다. 누출 감지기의 스니핑 프로브는 에워싸는 셀에 수집된 테스트 표본으로부터 빠져나가는 테스트 기체의 농도가 증가한다는 것을 결정하기 위하여 사용됩니다. 이런 방식의 감지 한계는 에워싸는 셀에서 불감 부피의 테스트 기체 농도와 테스트 기체 농도의 추가 증가에 의하여 결정됩니다. 이것은 이 방식이 진공 상태 하의 전체 누출 감지 방식보다 상당히 느리고 이 방식의 사용이 일반적으로 부품 처리량이 제한된 작은 기체 표본에 제한됨을 의미합니다.



그림 7.8: 스니핑 방식을 사용한 에워싸인 물체의 전체 누출 감지

테스트 기체를 사용한 누출 테스트 방식과 절차에 대한 상세한 설명은 당사의 누출 감지 개요서에 포함되어 있습니다.

### 7.3 어플리케이션 주의사항

헬륨을 사용한 모든 누출 감지 공정을 시작하기 전에, 사용자는 다음과 같은 몇 가지 기초적인 질문에 명확히 답해야 합니다.

- 테스트 표본의 압력 저항은 어느 정도입니까?
- 압력 저항에 대하여 선호하는 방향이 있습니까, 실제 사용되는 테스트 표본에서 얻어진 압력 경도가 시뮬레이션될 수 있습니까?
- 누출 위치가 결정되어야 합니까, 아니면 정량화되어야 합니까?
- 테스트 표본의 전체 누출률이 결정되어야 합니까? 그렇다면 최대 승인 가능 누출률은 얼마입니까?
- 표시된 누출률에 대하여 어떤 유체 기준이 적용됩니까?
- 이것은 어느 정도의 테스트 압력에 적용됩니까?
- 고려해야 할 안전 측면이 있습니까?

이런 대답을 기초로 하여 7.2.4장 및 7.2.5장에서 지시된 방식들 중에서 적절한 테스트 방법을 선택할 수 있습니다.

#### 7.3.1 헬륨으로 누출 감지

누출 감지기는 국부 누출 감지기 또는 전체 누출 테스트를 수행하기 전에 보정되어야 합니다. 파이버 베콤 누출 감지기에 통합된 헬륨 테스트 누출은 이 목적을 위하여 사용됩니다. 보정 루틴은 누출 감지기가 시작될 때 버튼을 누르거나 자동으로 시작되고, 정해진 소프트웨어 프로토콜에 따라 작동합니다. 보정 이후에는 누출 감지기가 사용할 준비가 됩니다.

	스니핑 누출 감지	진공 누출 감지	
방법	축적 테스트, 빠져나가는 테스트 기체를 에워싸는 셀 또는 챔버에 수집	초과 압력 상태의 테스트 표본, 진공실의 빠져나가는 테스트 기체 측정	진공 상태의 테스트 표본, 에워싸인 셀에서 테스트 표본으로 빠져나가는 테스트 기체의 측정
기계적 강도	테스트 기체의 초과 압력에 대한	테스트 기체의 초과 압력에 대한	진공에 대한 외부로부터의 대기압에 대한(차압 1000 hPa)
속도	느림	빠름	빠름
감지 한계	주로 > 1 · 10 <sup>-5</sup> Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> 일 경우에 사용	< 5 · 10 <sup>-13</sup> Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	< 5 · 10 <sup>-13</sup> Pa m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>

표 7.2: 스니핑 방식과 진공 방식에 의한 전체 누출 감지

사용자는 유닛의 상태와 시각적 디스플레이와 청각 신호를 통하여 측정된 누출률에 대하여 계속 정보를 받습니다. 청각 신호와 함께 신호음 주파수는 누출률의 변화에 따라 상승합니다. 청각 신호가 발생하는 시간은 사용자가 한계값을 프로 그래밍함으로써 결정될 수 있습니다. 시각 신호는 관련 유닛의 제어 패널에서 아니면 유선 또는 무선 원격 제어 유닛에서 판독될 수 있습니다. 이로써 누출 감지가 단 한 명의 직원에 의해 수행될 수 있습니다.

헬륨을 테스트 기체로 사용할 경우엔 다음 사항이 항상 준수되어야 합니다.

- 헬륨은 공기보다 가볍습니다. 따라서 대기에서 헬륨을 사용할 때는 누출 감지 공정이 항상 테스트 표본의 최고 지점에서 시작되어야 합니다. 이것은 전류 테스트가 진행되고 있는 곳 위에서 누출 시 헬륨이 떠오르기 때문에 허위 신호가 발생하는 것을 방지합니다. 그러나 헬륨의 상향 흐름은 기류에 의하여 중단될 수 있습니다. 천정에서 바닥으로의 층류 기체 흐름이 발생하는 청정실에서는 작업 방향이 전도될 수 있습니다.
- 테스트 기체의 과도한 양이 분무되어서는 안 됩니다. 왜냐하면 이것은 주변 공기에서 헬륨의 농도를 높이기 때문입니다. 이것은 누출 감지기의 배경 신호를 높이고 테스트 동안 둔감도를 증가시킵니다.
- 사용되는 누출 감지기의 배압 펌프 또는 보조 펌프가 오일 윤활될 경우 헬륨이 배압 펌프의 배기 공간에 축적되고 오일 속에서 용해되어 이 지점에서 고진공 영역으로 역 확산될 수 있습니다. 높은 누출률 감지 후 배압 펌프에서의 기체 밸러스트 사용은 축적된 헬륨을 펌프 시스템에서 방전시켜 표시된 배경 신호를 감소시키는 데에 도움을 줄 수 있습니다.

진공 방식에서는 충분히 낮은 진공을 생성하여 누출 감지가 최대 감도에서 작동되게 할 필요가 있습니다. 그렇지 않으면 누출 감지기가 펌프 다운된 주변 공기에서 발생하는 잔류 헬륨을 계속 표시합니다.

높은 펌프 속도를 가진 추가 진공 펌프(보조 펌프)는 따라서 커다란 테스트 표본에 자주 사용되어야 합니다. 이 경우 누출 감지기는 커다란 진공 펌프용 수송기 펌프 포트에 직접, 즉 보조 펌프에 병렬로 연결되어야 합니다.

보조 펌프 작동 시에는 누출률을 결정하기 위하여 테스트 누출을 사용하여 측정함으로써 시스템의 부분 흐름 비율이 제한되어야 합니다. 빠져나가는 테스트 기체 중 보조 펌프에 의하여 펌프 다운되는 비율이 어느 정도이고 누출 감지기에서 감지될 수 있는 비율이 어느 정도인지 신뢰할 수 있을 정도로 표시하는 것은 측정을 통해서만 가능합니다.

스니핑 프로브를 사용하여 작업 시 용기의 압력은 주변 압력보다 최소 100 hPa 높아야 합니다. 공기의 자연 헬륨 함량으로 인하여 스니핑 방식의 감도는 진공 방식의 감도보다 더 낮습니다. 또한 유입되는 헬륨에 대한 누출 감지기의 지연된 반응 역시 고려되어야 합니다. 반응 시간 역시 사용되는 스니핑 프로브의 길이에 따라 달라집니다.

헬륨이나 다른 테스트 기체를 사용한 누출 테스트가 사양에 결정적인 매개변수와 함께 반드시 수행될 필요는 없습니다. 예를 들면 다양한 기체, 기체 및 유체, 다른 압력 조건, 질량 누출률 및 부피 누출률 등에 대한 전환이 가능합니다.

**7.3.2 누출 감지기와 4중극 질량 분석기로 테스트 결과 비교**  
4중극자 질량 분석기는 기체 혼합물의 구성을 분석하기 위하여 가장 먼저 사용됩니다. 분석기는 고진공 범위에서의 테스트 압력을 요구합니다. 질량 분석기는 거의 모든 추적 기체와 함께 사용될 수 있습니다. 왜냐하면 이들의 사용이 반드시 클래식한 추적 기체 헬륨에 의존하지는 않기 때문입니다. 잔류 기체 분석기는 특수한 테스트 기체가 없어도 진공 시스템에서의 누출을 감지할 수 있습니다. 이것들은 공기 속의 기체 질량을 분석합니다.

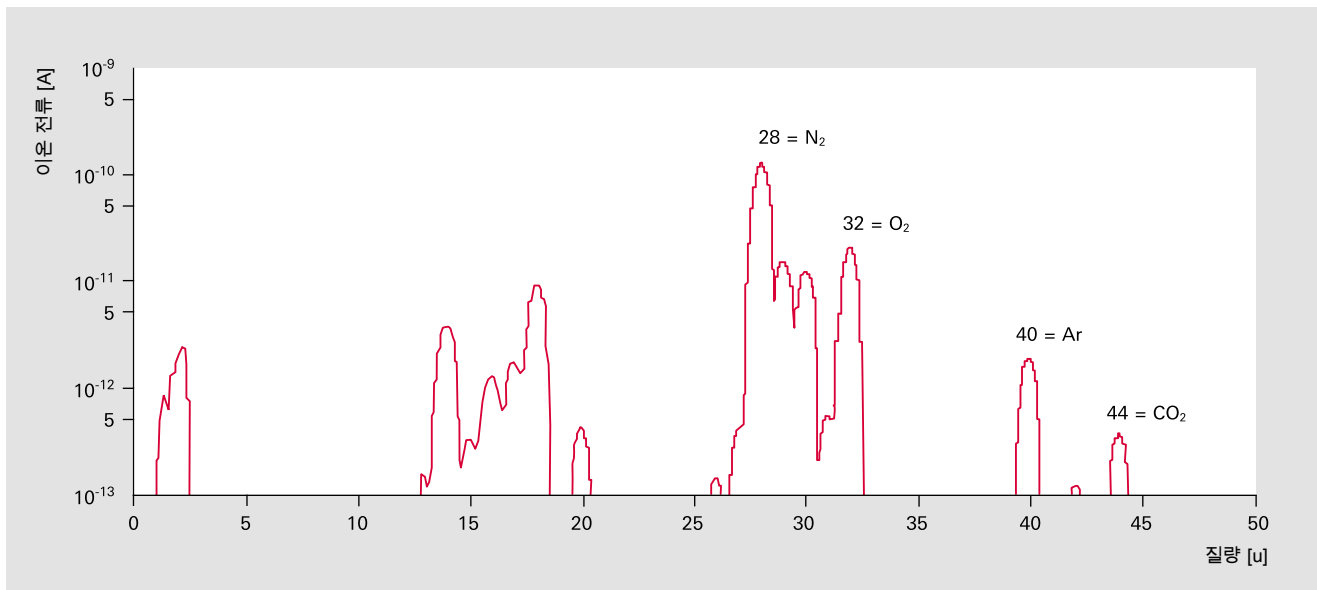


그림 7.9: 공기 누출이 있는 수송기의 질량 스펙트럼

추적 기체 헬륨에 대한 누출 감지기는 현재 4중극자 질량 분석기를 기초로 하여 설계되지는 않습니다. 결과와 데이터 해석의 더 쉬운 정량화 뿐만 아니라 이들의 더 커진 견고함과 장기적 안정성으로 인하여 자석 섹터 질량 분석기를 기초로 한 거의 모든 질량 분광 분석 감지기가 이 목적을 위하여 주로 사용됩니다.

석영 창 센서를 기초로 한 감지기가 달린 유닛은 질량 분광 분석 감지기의 우수한 감도를 요구하지 않는 어플리케이션에도 사용됩니다. 석영 창 센서가 달린 유닛은 무척 높은 테스트 압력과 높은 수증기 노출에서의 작동을 가능하게 해줍니다.

	누출 감지기	RG/QMS
누출, 위치 측정	예	예
누출, 정량	예	아니오
누출, 실제	아니오	예
침투	대략적 표시 가능, 침투와 탈착간 구별 없음	예, 데이터 해석이 가능합니다.
탈착		예, 탈착 기체에 대한 결론입니다.
테스트 압력	고	저
감지 한계	$5 \cdot 10^{-13} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$ (섹터 필드 MS) $5 \cdot 10^{-9} \text{ Pa m}^3 \text{ s}^{-1}$ (석영 창 감지기)	봉 시스템과 감지기에 따라 달라지는 이온 전류
일반	정량적 누출률 측정 가능	질적 측정 계기, 정량 복합은 더 많은 전문지식을 요구하고 더 많은 정보를 제공합니다.

표 7.3: 누출 감지기와 4중극자 질량 분석기의 비교

## 7.4 포트폴리오 개요

질량 분석기와 기체 분석기의 포트폴리오는 6장에 설명되어 있습니다.

파이퍼 베콤은 광범위한 헬륨 누출 감지기를 보유하고 있습니다. 개요는 Tabelle 7.4에 제시되어 있습니다.

확대 포트폴리오는 특수한 어플리케이션을 위하여 특별히 설계된 유닛의 선택을 가능하게 해줍니다. 가장 중요한 특성은 다음과 같습니다.

- **MiniTest:** 최대 200 hPa의 절대 압력과 높은 수증기 노출에서 진공 시스템의 누출 감지 위치 측정. 무게가 5kg이고 반경이 넓은 무선 원격 제어가 있어서 한 명의 운전자만으로 거대한 진공 시스템에서 누출 감지가 가능한 이상적인 솔루션.
- **ASM 310:** 완전 통합 펌프 시스템을 갖춘 진공 및 스니핑 테스트용 초소형 초경량 누출 감지기. 질량 분광 분석 감지기로 인한 탁월한 감지 감도.
- **ASM 340:** 당사의 모든 생산 현장의 결합된 경험을 통한 최신 파이퍼 베콤 누출 감지기. 강력한 펌프 시스템과 ASM 및 HLT 시리즈 누출 감지기와 하위 호환성으로 인하여 거의 만능 누출 감지기가 되었습니다.
- **ASM 182 시리즈:** 강력한 펌프 시스템 장착으로 산업 환경 또는 대용량 진공 시스템에서 민감한 정량 누출 감지에 이상적인 선택입니다.
- **ASM 380:** 반도체 산업 및 코팅 시스템을 위하여 특별히 개발됨. 슬림한 디자인으로 인하여 생산 기계 사이의 좁은 통로에서도 이동 가능하고 조작 가능합니다. 높은 헬륨 펌프 속도는 보조 펌프와 함께 사용될 경우에도 비할 데 없는 감도를 제공하고, 오일 없고 입자 없는 배압 펌프는 청정실 사용에 적합하게 해줍니다.

	휴대용		다목적	고성능			워크스테이션	모듈	스니핑
	MiniTest	ASM 310	ASM 340	ASM 182 T ASM 182 TD+	ASM 380	ASM 192T ASM 192T 2D+	ASM 1002	ASI 30	ASM 102 S
석영 창 센서	■								
섹터 필드 MS		■	■	■	■	■	■	■	■
진공 방식	■	■	■	■	■	■	■	■	
스니핑 방식		■	■	■	■	■	■	■	■
테스트 누출		■	■	■	■	■	■	■	

표 7.4: 파이퍼 베콤 누출 감지기

- **ASM 192 시리즈:** 고정 사용을 위한 이 콘솔 유닛은 대용량 구성품의 민감한 누출 감지에 이상적입니다.
- **ASM 1002:** 개방형 및 폐쇄형 구성품의 테스트를 위한 워크스테이션. ASM 1002는 소형 용접 밀봉 구성품에 대한 완벽한 선택입니다. 조작이 간단하기 때문에 사용자가 쉽게 친숙해지고 신호등 원리에서 시각적인 신호 인식이 가능합니다.
- **ASI 30:** 누출 감지기 시스템에서 통합을 위한 모듈 누출 감지기. 광범위한 인터페이스 때문에 다양한 신호를 사용하여 제어될 수 있으며, 다른 브랜드의 기존 누출 감지기 모듈에 대한 교체로 사용될 수 있습니다.
- **ASM 102 S:** 휴대용 19" 케이스의 순수 스니핑 누출 감지기. ASM 102 S는 항공 산업 또는 파이프라인 건설에서와 같은 이동 스니핑 누출 감지를 위하여 설계되었습니다.

## 7.5 산업용 누출 검사

파이퍼 베큘 시스템 그룹은 다른 많은 어플리케이션 뿐만 아니라 자동차, 에너지, 포장, 냉장 및 에어 컨디셔닝 산업에서의 광범위한 사용을 위하여 고객 지정 누출 감지기를 제조합니다. 이 시스템은 생산 라인의 통합 또는 단일 검사 스테이션에서의 사용에 동등하게 적합합니다. 이 시스템은 최소 테스트 기체 소비로 높은 처리량에 도달하고, 시리즈 전 개발 및 대용량 직렬 테스트에 유연한 유닛입니다.

자원 절약을 위한 당사의 헌신은 당사에서 제조하는 고객 맞춤 테스트 기체 회수 유닛에 반영되었습니다.

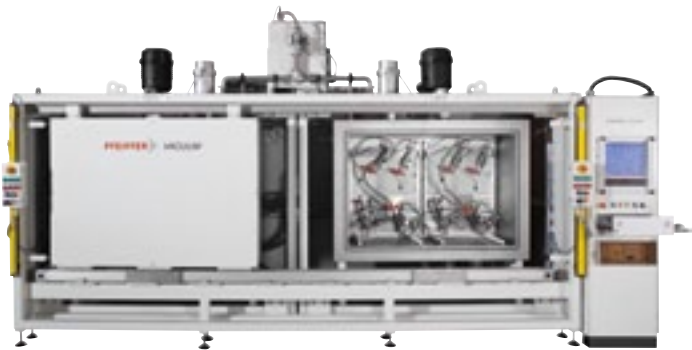


그림 7.10: 냉각 호스용 누출 테스트 유닛



그림 7.11: 헬륨 회수 유닛

# 8 오염 관리 솔루션

## 8.1 소개

반도체 제조(예: 통합 전자 회로 생산) 시 많은 중요한 공정 단계들이 진공 기술에 기초합니다. 실리콘 공정에서 진공 기술을 사용하는 데에는 다음과 같이 여러 이유가 있습니다.

- 진공은 실리콘 웨이퍼에서 주변 대기, 즉 반응 기체와 먼지를 차단할 때 제어된 조건을 허용합니다.
- 진공은 실리콘 웨이퍼의 표면 패터닝의 기초 공정 단계인 실리콘 및 실리콘 산화물의 이방성 식각을 허용합니다.
- 진공 기반의 몇몇 공정은 모든 유형의 얇은 절연 층의 퇴적과 제어 가능한 속성을 지닌 필름을 실리콘 웨이퍼에 전도하는 것을 허용합니다.

고체 실리콘으로 만들어진 통합 회로의 개발은 장비 당 통합 구성품 수의 지속적인 증가와 패턴 크기의 축소로 인하여 성능이 꾸준히 높아지는 것이 특징입니다. 개발 과정에서 회로의 성능은 1960년대 이후로 2년마다 약 두 배가 되었는데, 이는 Gordon E. Moore가 예언했고 Moore의 법칙으로 알려진 것입니다[35]. 이것은 마이크로 프로세서 및 랜덤 액세스 메모리(RAM)와 같은 초소형 통합 회로 구조가 1970년 약 10 μm에서 2000년 이후 0.1 μm 이하로 축소됨으로써 달성되었

습니다. 이 기간 동안 실리콘 웨이퍼의 크기는 직경 1"~300mm(~12")로 증가하여 처리량이 증가하고 비용이 감소되었습니다.

300mm 기술의 도입으로 소위 중요한 치수가 150nm에서 줄어들었고, 이 글이 쓰여진 시기(2012)엔 22nm에 도달했습니다. 300mm 웨이퍼 크기를 사용함으로써 생산 기술 역시 개방형 카세트(그림 8.2 왼쪽)에서 생산 현장 내부의 닫힌 상자 속에 있는 또 다른 장비로 전달됩니다(FOUP = 전방 개방 통합 포드, 그림 8.2 오른쪽).



그림 8.2: 카세트(왼쪽)와 FOUP(오른쪽)을 사용한 웨이퍼 조작

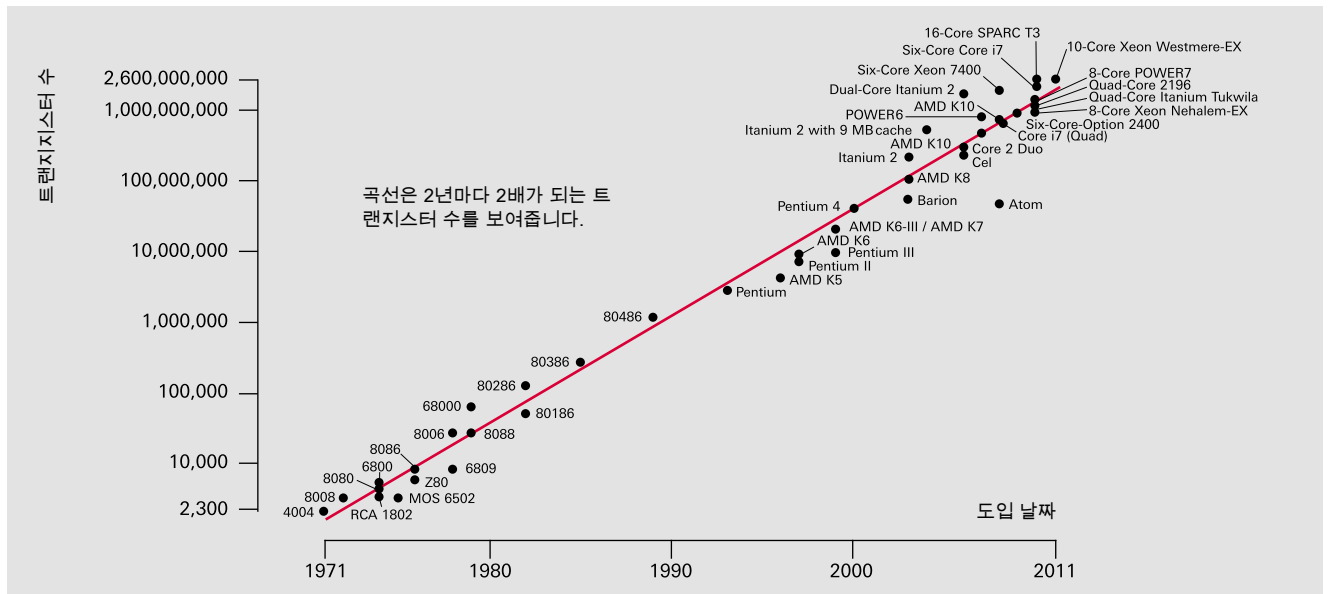


그림 8.1: Moore의 법칙(Intel 및 AMD 마이크로 프로세서에서 트랜지스터 수에 의해 문서화됨)

## 8.2 오염

먼지는 소규모 장비의 통합 회로 제조의 천적입니다. 통합 회로 개발 과정에서 생산 환경에서 먼지를 제거하는 효과적인 방법이 개발되었습니다. 회로 구조(임계 치수, CD)의 요소들과 비교 가능한 크기 또는 더 큰 크기의 먼지 입자가 우연히 장비에 포함될 경우 문제가 될 수 있습니다. 22nm의 실리콘 구조는 오직 41 Si 원자로만 구성되어 있습니다. 이 크기에서는 입자들이 문제를 일으킬 뿐만 아니라 분자들에 의한 오염이 문제를 더 키우게 됩니다. 이런 오염은 공기 중 분자 오염(AMC)으로 알려져 있습니다. 개방형 카세트에서 폐쇄형 FOUP로의 변화는 주로 입자 오염을 감소시켰지만 동시에 AMC의 영향을 증가시켰습니다.

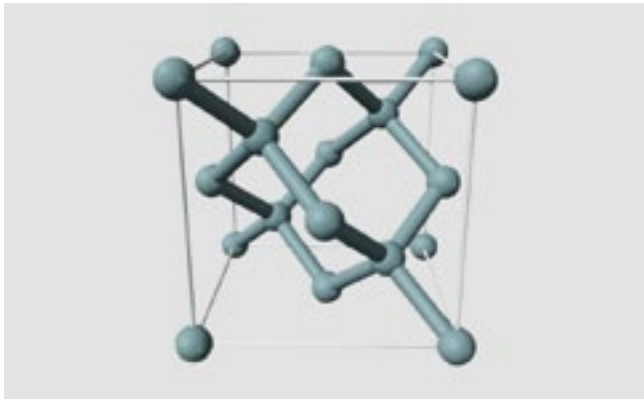


그림 8.3: 실리콘의 다이아몬드 같은 결정 구조

주변 공기에서, 주변 표면에서 또는 이전 공정 단계에서 비롯된 웨이퍼 표면의 분자들은 웨이퍼가 다음 공정 단계를 기다리는 대기 시간 동안 증가하는 경향이 있는 반응 제품의 소규모 클러스터를 형성하는 대기 기체와 반응할 수 있습니다. 분자 오염의 핵은 대체로 반도체 제조에서 사용되는 많은 화합물에서 비롯합니다. 세계 반도체 기술 로드맵 (ITRS)은 웨이퍼 결함을 유발할 수 있는 AMC 목록을 제정했습니다[36]. 이 목록은 무기산 및 유기산, 염기, 향 화합물, 휘발성 유기 화합물로 이루어졌습니다. 자세한 내용은 그림 8.4를 참조하십시오.

FOUP 내부 대기엔 AMC의 두 가지 주요 소스가 있습니다. 주요 소스는 각 공정 단계 이후에 FOUP에 저장된 웨이퍼입니다. 마지막 공정에서 나온 부산물은 표면에서 배출되어 FOUP의 폴리머 재료에 의해 흡수되거나 다른 웨이퍼 표면에 재흡수될 수 있습니다. 두 번째 소스는 폴리머 벌크로부터 또는 이전에 흡수된 다른 웨이퍼 및/또는 다른 공정의 부산물로부터 비롯되어 FOUP에서 나오는 탈기체입니다. 중합체는 기체를 흡수할 정도로 용량이 크기 때문에 FOUP는 스스로 운반해온 웨이퍼의 “메모리”를 보유하고 있습니다. AMC 소스와 비교할 때 잘 제어된 청정실 공기의 기여는 무시될 수 없습니다.

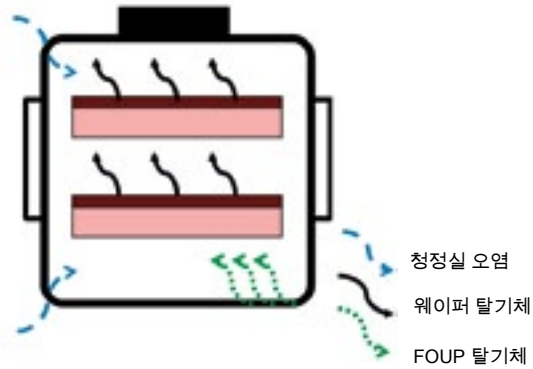


그림 8.5: FOUP의 AMC 소스

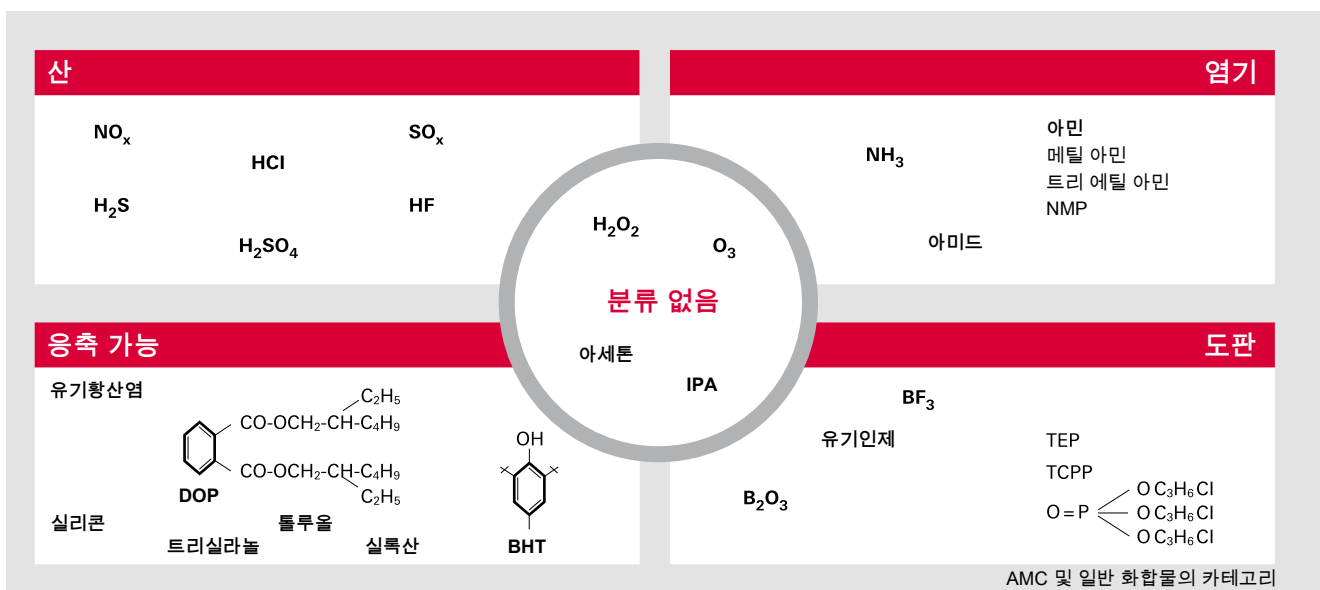


그림 8.4: 공기 중 분자 오염(AMC)의 분류

### 8.3 AMC의 속성

대기압 및 주위 온도에서 약  $10^{15}$  atoms/cm<sup>2</sup>를 포함하는 딱딱한 표면은 초 당 그리고 cm<sup>2</sup> 당 약  $10^{23}$ 의 부수수적인 기체 분자 및 원자의 흐름을 받게 됩니다[37]. 이것은 몇 나노 초 이내에 표면이 얼마간의 기체 분자 층으로 뒤덮일 것임을 의미합니다. 분자가 표면에 정착할 가능성은 분자의 속성과 표면의 속성 및 지형에 따라 달라집니다. 하지만 ppbv(10억 개 부품 당 부피, 예:  $10^{-9}$ ) 범위에서  $10^{14}$  s<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup>의 속도로 표면에 부딪히는 반응 부산물의 최소 흔적은 흡착 계수가 높을 경우 몇 초 이내에 표면을 덮습니다.

공기 중 분자는 극성이거나 무극성이 될 수 있습니다. 무극성 분자에서는 전기 전하가 대칭으로 분배되고, 양전하와 음전하의 중심이 일치합니다. 예는 질소 N<sub>2</sub> 또는 선형 CO<sub>2</sub> 분자입니다. 이 분자들은 약한 van der Waals 힘에 의하여 단단한 표면에 고정되며, 결합 에너지는 범위가 일반적으로 RT ≈ 2.5 kJ/mol의 열 에너지에서 약 20·RT 사이입니다. 극성 분자에서는 전기 전하가 비대칭적으로 분배되어 영구 2극성 운동량을 갖게 됩니다. 극성 분자의 예는 물 H<sub>2</sub>O와, HF와 HCl 같이 반도체 식각 공정에 사용되는 무기산입니다. 극성 분자의 결합 에너지는 더 높습니다. 예를 들어 1 Si(100) 표면의 H<sub>2</sub>O일 경우엔 약 138 kJ/mol입니다. 이 분자들은 표면과 화학적으로 상호작용하여 핵을 형성하여 더 큰 반응을 일으킬 수 있습니다.

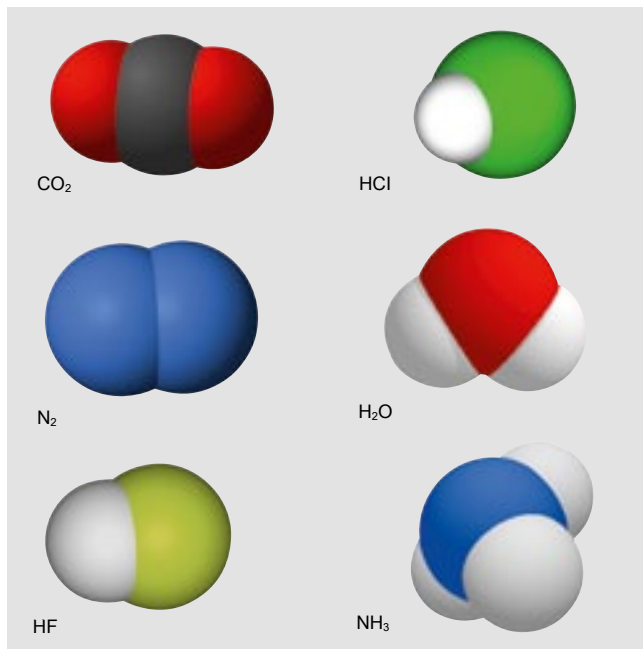


그림 8.6: 공기 중 극성 및 무극성 분자

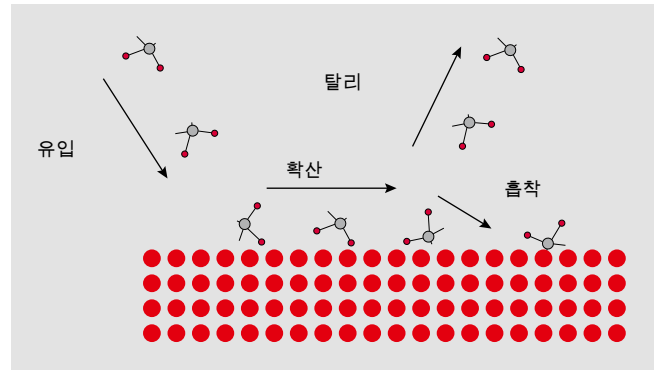


그림 8.7: 표면에서의 기체-고체 상호작용

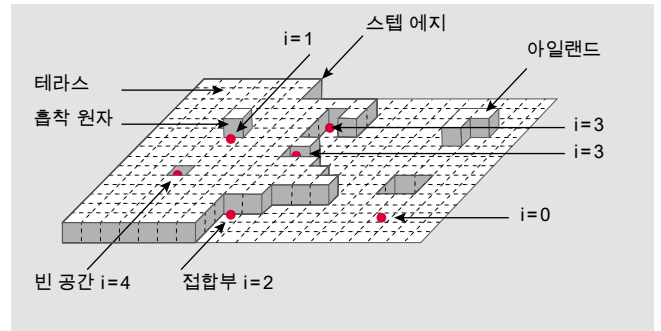


그림 8.8: 표면 장소

### 8.4 표면 분자 오염(SMC)에서 결합까지

단단한 표면과 기체 사이의 상호작용 판에서 일어나는 다른 현상들이 그림 8.7에 나와 있습니다. 기체 분자는 고체에 부딪쳐 표면을 따라 확산하고, 표면에 흡착하거나 흡수됩니다. 단단한 표면은 벌크 재료와 외부 세계 사이의 경계입니다. 이 표면은 마지막 원자 또는 분자 층의 미결정 불포화 결합 때문에 벌크 재료보다 에너지가 더 큼니다. 각 미결정 불포화 결합은 잠재적 흡착 장소입니다. 표면의 자유 에너지는 재료의 결합(예: 금속, 이온 또는 공유)에 따라 달라집니다. 흡착 장소의 수는 주문된 결정 표면에서부터 다결정 표면과 비정형 폴리머 재료까지 증가합니다. 불순물이 흡착 장소의 수를 증가시킵니다.

수증기는 표면 공정에서 특수한 역할을 수행합니다. 25°C 및 50%의 상대 습도에서 공기는 16hPa(1.58%)의 수증기를 함유하고 있습니다. 모든 표면에는 약  $5 \cdot 10^{21}$  cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>의 물 분자 유입이 일어납니다. 약 200ns에서 물의 일분자층은 1 Si(100)의 표면을 덮을 수 있습니다. 물 분자의 극성 때문에 첫 번째 층은 표면과 단단히 결합하고, 물 대 물 결합의 추가 층들은 한 더미의 물 층을 형성합니다. 대기 조건에 노출된 표면에 다다른 산 분자는 물 분자와 만나 더 큰 반응을 보냅니다.

플라스틱이나 중합체 같은 벌크 속으로 물을 흡수할 수 있는 모든 재료는 장기간 노출될 경우 포화 상태가 됩니다. FOUF는 폴리카보네이트(PC), 폴리에테르 에테르 케톤 (PEEK), 아크릴로나이트릴 뷰타다이엔 스타이렌(ABS)과 같은 폴리머 재료로 만들어집니다. 이 재료들은 물을 0.12%, 0.5%, 0.7% 흡수할 수 있으며, 각각의 흡수는 주위 조건에서 6 l, 25 l, 35 l의 수증기를 만듭니다. 포토 레지스트 마스크 역시 폴리머 재료이며, 물을 흡수합니다.



플라스마 조건에서 표면에는 물 분자, 활성 이온, 반응성 중의 유입이 일어납니다. 이온은 식각 부산물의 흡착을 돕고 표면의 결합 생성을 통한 식각비를 향상시킵니다. 식각 이후에 표면은 반응성 종과 함께 완전 포화됩니다. 1.5~2.5nm의 할로겐화 층이 Cl<sub>2</sub> + HBr 화학 성분과 폴리 식각 관계에 있다고 보고된 바 있습니다[38]. 식각 후 웨이퍼 표면은 화학 반응을 용이하게 하기 위하여 수증기를 제공하기도 하는 FOUP의 폐쇄된 환경에 부산물 및 반응 분자들을 방출합니다.

흡착 및 탈착 공정 이론을 토대로 흡착 기체의 양  $\theta$  이 다음과 같은 형식으로 얻어질 수 있습니다.

$$\theta = \frac{p \cdot C}{1 + p \cdot C}$$

공식 8-1: 흡착률

여기서  $p$ 는 압력이고,  $C = C(T)$ 는 온도와 관계가 있습니다. 이것은 Langmuir 흡착 등온선/등압선으로 알려져 있습니다. 평형 범위  $\theta_{eg}$ 는 주어진 압력 및 온도 설정에서 결정됩니다.  $\theta$  형태  $p$ 와  $T$ 에 대한 의존성이 그림 8.9에 나와 있습니다. 그림은 단단한 표면에서 기체의 낮은 범위는 낮은 압력과 높은 온도에 의하여 도달될 수 있음을 보여줍니다.

흡착과 탈착은 동적 공정입니다. 무극성 분자는 결합 에너지가 낮기 때문에 탈착 속도가 더 빠릅니다. 표면에 남아 있는 각 무극성 분자들은 새로운 흡착 장소를 제공합니다. 이 새 장소는 더 강한 결합 에너지와 더 낮은 흡착률을 가진 극성 분자에 의해 점령될 수 있습니다. 시간이 지나면서 극성 분자 농도가 표면에서 증가하고, AMC의 투여량 D의 결과인 결합 형성 가능성이 증가합니다.

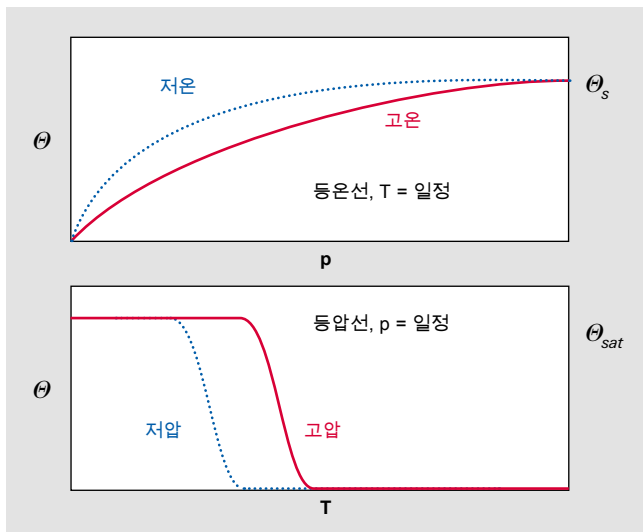


그림 8.9: 식각 후 표면

$$D = c_{AMC} \cdot \Delta t$$

공식 8-2: 오염의 투여량

여기서  $c_{AMC}$ 는 공기 중 분자 오염물질의 농도이고,  $\Delta t$ 는 웨이퍼 표면이 FOUP 대기에 노출된 시간입니다.

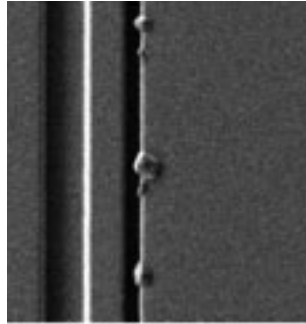


그림 8.10: 웨이퍼 패턴 가장자리의 결정체 성장

SMC는 대기 시간 동안 결정체 성장의 근원입니다. 웨이퍼는 다음 공정 단계를 기다리는 오랜 시간 동안 상대적으로 극성 분자의 더 높은 투여량을 받아 결정체 성장 가능성을 계속하여 결합을 발생시키고 손실을 일으키는 크기로 증가시킵니다.

### 8.5 포트폴리오 개요

투여량이라는 개념은 AMC에 의한 결함 생성을 피하기 위하여 취해야 할 다음과 같은 조치를 이끕니다.

- 압력 감소
- 온도 상승
- 노출 시간 감소

대기 시간은 웨이퍼 가공 시 유연성을 확보하기 위하여 필요한 제조 요구조건이기 때문에 높아진 온도에서 진공 상태의 FOUP 및 웨이퍼의 탈기체는 결함을 줄이고 산출량을 늘리는 올바른 조치입니다. AMC의 제어를 위해서는 FOUP 내부에서 AMC를 모니터링하는 것이 중요하고, AMC는 동적 공정으로 통제되기 때문에 생산 환경에서는 모니터링이 필수적입니다. 파이프 베콤은 AMC의 적절한 분석 도구로

**APA 302 Pod Analyser**를 제공합니다. APA 302는 2분 이내에 전체 산, 전체 아민, 전체 휘발성 유기 화합물, 수증기에 대한 정보를 ppbv 수준으로 제공합니다. 측정은 빈 FOUPs 또는 웨이퍼와 함께 로드된 FOUP로 수행될 수 있습니다.

AMC가 분석되고 산출량에 대한 그 영향이 확인되면 상황을 개선하기 위하여 적절한 조치가 취해져야 합니다. 이 목적을 위하여 파이프 베콤은 단일 작동 시 최대 4개의 FOUP에서 오염 물질을 제거하기 위한 효과적인 도구로 **APR 4300 Pod Regenerator**를 제공합니다. 이 특허 받은 기계는 이 장에서 제시된 것처럼 물리적 화학적 기체 표면 상호작용의 이해를 기초로 한 것입니다. 포트 분석기는 그림 8.11에서 설명된 것처럼 진공 공정을 따릅니다. 약 5분 동안의 첫 번째 진공 조절 단계에서 작동 압력에 도달합니다. 후속 퍼지 공정은 표면에 구축된 AMC를 탈착하고, 마지막 단계에서는 FOUP가 대기압으로 되돌아갑니다.

APR 4300 Pod Regenerator는 최대 7%의 산출량 향상으로 효율성을 입증했습니다. 새로운 과제가 반도체 제조에서 발생하고 있고, 공기 중 분자 오염 투여량이 점점 더 중요해지고 있습니다. 따라서 대기압을 임계 생산 단계 사이에 전달하는 것에 대한 대안이 개발되어야 합니다. 진공은 미래의 솔루션에서 확실히 더 중요한 역할을 할 것입니다.

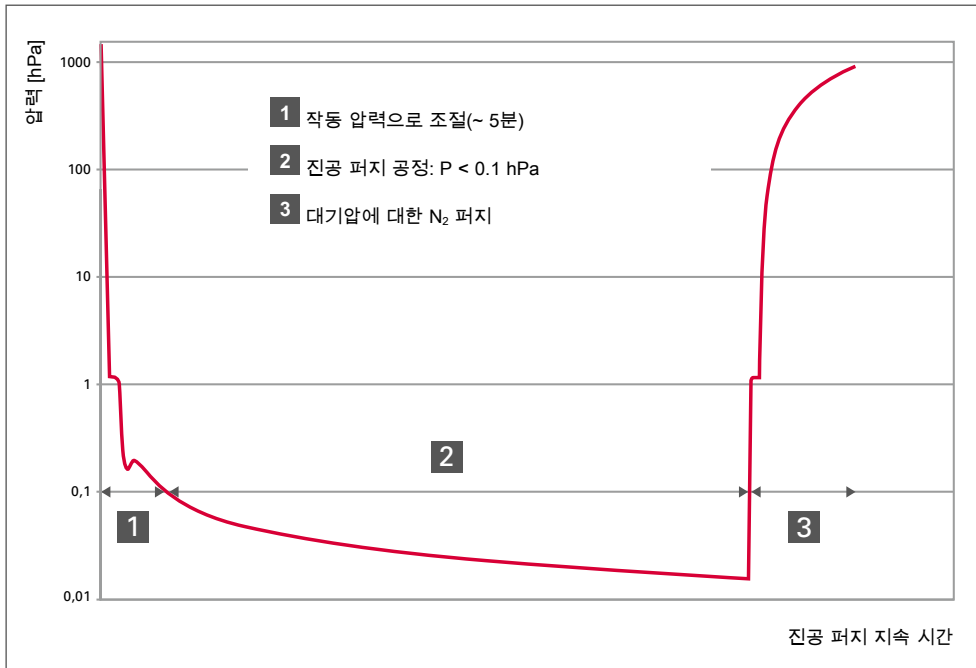


그림 8.11: Pod Regenerator 공정 주기



## 그램 찾아보기

### 1 진공 기술 소개

그림 1.1:	진공의 개요	8
그림 1.2:	전체 압력의 정의	9
그림 1.3:	분압의 정의	10
그림 1.4:	두 번의 충돌간 평균 자유 행로	12
그림 1.5:	273.15 K의 온도에서 질소의 분자 수밀도(빨간색, 오른쪽 y축)와 평균 자유 행로(파란색, 왼쪽 y축)	13
그림 1.6:	흐름 영역의 다양한 유형들의 개요	14
그림 1.7:	p · d에 따른 진공 상태의 흐름 범위	15
그림 1.8:	파이프의 평균 압력에 따른 부드럽고 둥근 파이프의 전도도	16
그림 1.9:	다양한 물질들의 증기 압력 곡선	17
그림 1.10:	터보분자 펌프로 환기된 깨끗한 용기에 대한 일반 잔류 기체 스펙트럼	20

### 2 기본 연산

그림 2.1:	루츠 펌프의 공기에 대한 무부하 압축비	24
그림 2.2:	Hepta 100 및 Okta 500이 있는 펌핑 스테이션의 체적 유량율(펌프 속도)	24
그림 2.3:	건조 시스템(도해)	25
그림 2.4:	증기 응축을 위한 루츠 펌핑 스테이션	26
그림 2.5:	증기 응축을 위한 루츠 펌핑 스테이션	27
그림 2.6:	변압기 건조를 위한 루츠 펌핑 스테이션	27
그림 2.7:	높은 공정 압력에서 서로 다른 터보 펌프의 기체 처리량	29
그림 2.8:	압력 및 처리량 조절이 가능한 진공 시스템	30

### 3 진공의 기계적 구성품

그림 3.1:	오스테나이트 스테인레스강 탄성 모듈의 온도 의존성	34
그림 3.2:	오스테나이트 스테인레스강의 0.2% 항복점의 온도 의존성	34
그림 3.3:	De Long 다이어그램	35
그림 3.4:	레이저 용접의 횡단면 이미지	39
그림 3.5:	WIG 궤도 용접의 횡단면 이미지	39
그림 3.6:	직사각형 홈이 있는 오링, 사다리꼴 모양 홈이 있는 오링, 각성 위치의 오링	41
그림 3.7:	센터링 링과 클램핑 링으로 ISO-KF 연결	41
그림 3.8:	센터링 링과 갈고리 모양 클램프로 기저판에 장착된 ISO-KF 플랜지	41
그림 3.9:	센터링 링과 이중 갈고리 모양 클램프로 ISO-K 연결	42
그림 3.10:	센터링 링과 갈고리 모양 클램프로 기저판에 장착된 ISO-K 플랜지	42
그림 3.11:	밀봉 홈을 가진 기저판에 대해 오링 너트와 갈고리 모양 클램프로 기저판에 장착된 ISO-K 플랜지	42
그림 3.12:	센터링 링, 볼트 링, 나사로 기저판에 장착된 ISO-K 플랜지	42
그림 3.13:	센터링 링과 나사로 ISO-F 연결	43
그림 3.14:	센터링 링과 나사로 연결한 ISO-F 플랜지 위에 볼트 링으로 장착된 ISO-K 플랜지	43
그림 3.15:	구리 평면 개스킷과 나사로 CF 연결	43
그림 3.16:	구리 와이어 실과 나사의 COF 연결	44
그림 3.17:	냉각 프로파일과 수냉 플랜지가 있는 EUV 소스 챔버	47
그림 3.18:	필로우 플레이트 냉각을 사용하는 우주 시뮬레이션 챔버	47
그림 3.19:	유리-금속 용단이 있는 CF 뷰포트	49
그림 3.20:	구리로 만들어진 세라믹 절연 와이어 전도체가 있는 전기 피드스루	50
그림 3.21:	벨로우즈 밀봉 앵글 밸브	51
그림 3.22:	전자 공기식 구동 인라인 밸브	51

그림 3.23:	UHV 게이트 밸브	52
그림 3.24:	UHV 완전 급속 기체 도징 밸브	52
그림 3.25:	벨로우즈 밀봉 UHV 회전 피드스루(캣테일 원리)	53
그림 3.26:	자기 결합 UHV 회전 피드스루	54
그림 3.27:	탄성 중합체 밀봉 회전 피드스루	54
그림 3.28:	Z-축 정밀 조작기	55
그림 3.29:	XY-축 정밀 조작기	56

## 4 진공 생성

그림 4.1:	진공 펌프의 개요	58
그림 4.2:	회전 날개 펌프의 작동 원리	60
그림 4.3:	파이퍼 베콤 회전 날개 펌프	62
그림 4.4:	회전 날개 펌프용 부속품	67
그림 4.5:	격막 진공 펌프의 작동 원리	68
그림 4.6:	나사 펌프의 작동 원리	69
그림 4.7:	HeptaDry 로터	69
그림 4.8:	HeptaDry의 연결 및 부속품	70
그림 4.9:	공랭식 다단계 루츠 펌프의 작동 원리	71
그림 4.10:	무척 낮은 온도에서 작동되는 루츠 펌프의 암모늄 헥사 플루오르(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> 의 응축	74
그림 4.11:	다단계 루츠 펌프의 작동 원리, 공정 펌프	74
그림 4.12:	ACP 120	75
그림 4.13:	A 100 L 후면 연결	76
그림 4.14:	A 203 H 횡단면	76
그림 4.15:	A 1503 H 공정 펌핑 스테이션	77
그림 4.16:	루츠 펌프의 작동 원리	78
그림 4.17:	기체 냉각 루츠 펌프의 작동 원리	79
그림 4.18:	루츠 펌프의 공기에 대한 무부하 압축비	79
그림 4.19:	Okta 2000 및 다양한 배압 펌프를 사용한 펌핑 스테이션의 펌프 속도	80
그림 4.20:	측면 채널 진공 펌프의 작동 원리	83
그림 4.21:	터보 로터의 자유도	84
그림 4.22:	터보분자 펌프의 작동 원리	84
그림 4.23:	특정 터보 펌프 펌프 속도	85
그림 4.24:	상대 분자 질량에 따른 펌프 속도	85
그림 4.25:	유입구 압력에 따른 펌프 속도	85
그림 4.26:	홀백 단계의 작동 원리	86
그림 4.27:	순수 터보 펌프 및 터보 드래그 펌프의 압축비	86
그림 4.28:	일반적인 UHV 잔류 기체 스펙트럼(터보 펌프)	87
그림 4.29:	표준 HiPace 터보 펌프	89
그림 4.30:	ATH M 자기 부상 터보 펌프	90
그림 4.31:	터보 펌프 부속품의 예(HiPace 300용)	91

## 5 진공 측정 장비

그림 5.1:	격막 진공 측정기의 설계	92
그림 5.2:	용량성 격막 진공 측정기의 설계	93
그림 5.3:	Pirani 진공 측정기의 작동 원리	93
그림 5.4:	Pirani 진공 측정기 곡선	94
그림 5.5:	전도된 마그네트론의 설계	94
그림 5.6:	전도된 마그네트론의 작동 원리	94
그림 5.7:	Bayard-Alpert 진공 측정기의 설계	95
그림 5.8:	압력 측정 범위와 측정 원칙	96
그림 5.9:	어플리케이션 개념 DigiLine	98
그림 5.10:	ActiveLine 어플리케이션 개념	99
그림 5.11:	ModulLine 센서를 위한 TPG 300 제어 유닛	100

**6 질량 분석기와 잔류 기체 분석**

**그림 6.1:** 전체 및 부분 압력 측정 ..... 102  
**그림 6.2:** 질량 분석기의 구성품 ..... 102  
**그림 6.3:** 180° 섹터 질량 분석기의 작동 원리 ..... 103  
**그림 6.4:** 섹터 필드 질량 분석기: (a) 이온 소스, (b) 감지기 ..... 104  
**그림 6.5:** 4중극자 질량 분석기의 작동 원리 ..... 104  
**그림 6.6:** 4중극자 필터의 안정성 다이어그램 ..... 105  
**그림 6.6:** 축 방향 이온 소스를 통과하는 섹션 ..... 107  
**그림 6.7:** 전자 에너지의 기능으로써의 이온화 ..... 107  
**그림 6.8:** CO<sub>2</sub>의 조각 이온 분배 ..... 107  
**그림 6.9:** 그리드 이온 소스 ..... 108  
**그림 6.10:** EID 이온의 판별 ..... 109  
**그림 6.11:** 크로스 빔 이온 소스 ..... 109  
**그림 6.12:** 기체 기밀 축 방향 이온 소스 ..... 109  
**그림 6.13:** SPM 이온 소스 ..... 110  
**그림 6.14:** PrismaPlus 이온 소스 ..... 110  
**그림 6.15:** Faraday 컵의 작동 원리 ..... 110  
**그림 6.16:** 2차 전자 증배기(SEM) ..... 111  
**그림 6.17:** 연속 2차 전자 증배기(C-SEM)의 작동 원리 ..... 112  
**그림 6.18:** 기체 유입 시스템과 크로스 빔 이온 소스가 있는 QMS ..... 113  
**그림 6.19:** 다양한 기체 유입구가 있는 차동 펌프 QMS ..... 114  
**그림 6.20:** 전기적으로 편향된 이온 소스의 전위 곡선 ..... 115  
**그림 6.21:** 90° 탈축 SEM ..... 116

**7 누출 탐지**

**그림 7.1:** 자전거 튜브의 거품 누출 테스트 ..... 118  
**그림 7.2:** 섹터 질량 분석기의 작동 원리 ..... 119  
**그림 7.3:** 일반 누출 감지기 흐름 차트 ..... 120  
**그림 7.4:** 석영 창 센서의 작동 원리 ..... 120  
**그림 7.5:** 시스템의 MiniTest 석영 창 누출 감지기의 진공 격막 ..... 120  
**그림 7.6:** 스니핑 방식과 진공 방식을 사용한 국부 누출 감지 ..... 121  
**그림 7.7:** 진공 방식을 사용한 전체 누출 감지 ..... 122  
**그림 7.8:** 스니핑 방식을 사용한 에워싸인 물체의 전체 누출 감지 ..... 122  
**그림 7.9:** 공기 누출이 있는 수용기의 질량 스펙트럼 ..... 123  
**그림 7.10:** 냉각 호스용 누출 테스트 유닛 ..... 125  
**그림 7.11:** 헬륨 회수 유닛 ..... 125

**8 오염 관리 솔루션**

**그림 8.1:** Moore의 법칙(Intel 및 AMD 마이크로 프로세서에서 트랜지스터 수에 의해 문서화됨) ..... 126  
**그림 8.2:** 카세트(왼쪽)와 FOUP(오른쪽)을 사용한 웨이퍼 조작 ..... 126  
**그림 8.3:** 실리콘의 다이아몬드 같은 결정 구조 ..... 127  
**그림 8.4:** 공기 중 분자 오염(AMC)의 분류 ..... 127  
**그림 8.5:** FOUP의 AMC 소스 ..... 127  
**그림 8.6:** 공기 중 극성 및 무극성 분자 ..... 128  
**그림 8.7:** 표면에서의 기체-고체 상호작용 ..... 128  
**그림 8.8:** 표면 장소 ..... 128  
**그림 8.9:** 식각 후 표면 ..... 129  
**그림 8.10:** 웨이퍼 패턴 가장자리의 결정체 성장 ..... 129  
**그림 8.11:** Pod Regenerator 공정 주기 ..... 130

## 표 찾아보기

<b>1 진공 기술 소개</b>	<b>표 1.1:</b>	대기의 구성	10
	<b>표 1.2:</b>	진공 기술의 압력 범위	10
	<b>표 1.3:</b>	압력 단위의 변환표	10
	<b>표 1.4:</b>	다양한 기체의 몰 질량 및 평균 열 속도	12
	<b>표 1.5:</b>	273.15K에서 선택한 기체들의 평균 자유 행로	13
	<b>표 1.6:</b>	273.15K에서 질소 분자의 평균 자유 행로 (0°C)	13
	<b>표 1.7:</b>	흐름 영역의 유형들의 개요	14
	<b>표 1.8:</b>	처리량 단위의 변환표	15
<b>2 기본 연산</b>	<b>표 2.1:</b>	루츠 펌핑 스테이션 및 펌프 다운 시간의 펌프 속도	24
<b>3 진공의 기계적 구성품</b>	<b>표 3.1:</b>	EN 10088 part 1의 유럽 재료 지정에 따른 스테인레스강의 화학적 구성(질량 부분)	33
	<b>표 3.2:</b>	미국철강협회(AISI)의 재료 지정에 따른 스테인레스강의 화학적 구성(질량 부분)	33
	<b>표 3.3:</b>	스테인레스강 속성	33
	<b>표 3.4:</b>	탄성 중합체 속성	37
	<b>표 3.5:</b>	밀봉재의 비교	38
	<b>표 3.6:</b>	실온에서 나사의 기계적 특징 및 재료	45
	<b>표 3.7:</b>	스테인레스강 및 아연 도금 강철 나사의 마찰 계수	45
	<b>표 3.8:</b>	직경이 ≤ M24인 스테인레스강 및 강철 나사에 대한 0.2% 항복점의 온도 의존성	45
	<b>표 3.9:</b>	스테인레스강 나사에 대한 최대 쥘 토크 및 그에 따른 최대 예압 힘	46
	<b>표 3.10:</b>	강도 클래스 8.8인 강철 나사의 최대 쥘 토크 및 그에 따른 최대 예압 힘	46
<b>4 진공 생성</b>	<b>표 4.1:</b>	HenaLine 성능 데이터(모든 데이터는 50 Hz 작동 참조)	62
	<b>표 4.2:</b>	UnoLine Plus 성능 데이터(모든 데이터는 50 Hz 작동 참조)	62
	<b>표 4.3:</b>	PentaLine 성능 데이터	63
	<b>표 4.4:</b>	DuoLine 성능 데이터	63
	<b>표 4.5:</b>	Duo M 시리즈 성능 데이터	63
	<b>표 4.6:</b>	Duo MC 시리즈 성능 데이터	64
	<b>표 4.7:</b>	Pascal SD 시리즈 성능 데이터	64
	<b>표 4.8:</b>	Pascal I 시리즈 성능 데이터	64
	<b>표 4.9:</b>	Pascal C1 시리즈 성능 데이터	65
	<b>표 4.10:</b>	Pascal C2 시리즈 성능 데이터	65
	<b>표 4.11:</b>	배압 펌프와 루츠 펌프의 오일 유형	66
	<b>표 4.12:</b>	격막 펌프 성능 데이터	68
	<b>표 4.13:</b>	HeptaDry 성능 데이터	70
	<b>표 4.14:</b>	공랭식 다단계 루츠 펌프의 가능한 구성	72
<b>표 4.15:</b>	공랭식 다단계 루츠 펌프 성능 데이터	72	
<b>표 4.16:</b>	비부식성 어플리케이션용 수냉식 다단계 루츠 펌프의 성능 데이터	77	
<b>표 4.17:</b>	비부식성 어플리케이션용 P 시리즈 수냉식 다단계 루츠 펌프의 성능 데이터	77	
<b>표 4.18:</b>	비부식성 어플리케이션용 H 시리즈 수냉식 다단계 루츠 펌프의 성능 데이터(거친 공정)	77	
<b>표 4.19:</b>	OktaLine 성능 데이터	81	
<b>표 4.20:</b>	OnTool Booster 성능 데이터	83	
<b>표 4.21:</b>	질소에 대한 HiPace®의 선택된 성능 데이터	89	
<b>표 4.22:</b>	질소에 대한 자기 베어링 터보 펌프의 성능 데이터	90	
<b>5 진공 측정 장비</b>	<b>표 5.1:</b>	액티브 및 패시브 진공 측정기	96
	<b>표 5.2:</b>	진공 측정기 선택 가이드	97

<b>6 질량 분석기와 잔류 기체 분석</b>	<b>표 6.1:</b>	필라멘트 재료와 사용	108
	<b>표 6.2:</b>	감지기와 속성	111
	<b>표 6.3:</b>	다양한 기체 유입 시스템과 그 속성	113
<b>7 누출 감지</b>	<b>표 7.1:</b>	스니핑 방식과 진공 방식을 사용한 극부 누출 감지	121
	<b>표 7.2:</b>	스니핑 방식과 진공 방식에 의한 전체 누출 감지	122
	<b>표 7.3:</b>	누출 감지기와 4중극자 질량 분석기의 비교	124
	<b>표 7.4:</b>	파이버 베큘 누출 감지기	124

## 공식 찾아보기

<b>1 진공 기술 소개</b>	<b>공식 1-1:</b>	기압 공식	9
	<b>공식 1-2:</b>	수치 기압 공식	9
	<b>공식 1-3:</b>	압력의 정의	9
	<b>공식 1-4:</b>	Boyle-Marriott 법칙	11
	<b>공식 1-5:</b>	Gay-Lussac의 법칙	11
	<b>공식 1-6:</b>	이상적인 기체 상태의 일반 방정식	11
	<b>공식 1-7:</b>	이상적인 기체 상태 방정식 I	11
	<b>공식 1-8:</b>	이상적인 기체 상태 방정식 II	11
	<b>공식 1-9:</b>	최대 확률 속도	12
	<b>공식 1-10:</b>	평균 속도	12
	<b>공식 1-11:</b>	평균 자유 행로	12
	<b>공식 1-12:</b>	평균 자유 행로 II	12
	<b>공식 1-13:</b>	크누센 수	14
	<b>공식 1-14:</b>	레이놀즈 수	14
	<b>공식 1-15:</b>	pV 처리량	15
	<b>공식 1-16:</b>	진공 펌프의 처리량	15
	<b>공식 1-17:</b>	체적 유량을 도는 진공 펌프의 펌프 속도	15
	<b>공식 1-18:</b>	전도도의 정의	16
	<b>공식 1-19:</b>	움의 법칙	16
	<b>공식 1-20:</b>	병렬 연결 전도도	16
	<b>공식 1-21:</b>	직렬 연결 전도성	16
	<b>공식 1-22:</b>	구멍의 차단	16
	<b>공식 1-23:</b>	구멍 흐름	17
	<b>공식 1-24:</b>	구멍 전도성	17
	<b>공식 1-25:</b>	공기에 대한 구멍 전도성	17
	<b>공식 1-26:</b>	총류 흐름의 파이프 전도도	17
	<b>공식 1-27:</b>	공기에 대한 총류 흐름의 파이프 전도도	17
	<b>공식 1-28:</b>	분자 파이프 흐름	17
	<b>공식 1-29:</b>	길고 둥근 파이프의 통과 가능성	17
	<b>공식 1-30:</b>	분자 파이프 전도성	17
	<b>공식 1-31:</b>	분자 파이프 전도성	17
	<b>공식 1-32:</b>	탈착 속도	19
	<b>공식 1-33:</b>	플라스틱에서의 탈착 속도	19
	<b>공식 1-34:</b>	침투	19
	<b>공식 1-35:</b>	누출률	19
	<b>공식 1-36:</b>	시간에 따른 최종 압력	20



## 2 기본 연산

공식 2-1:	루츠 펌프 기체 부하	22
공식 2-2:	루츠 펌프의 압축비	22
공식 2-3:	총류 흐름에서 루츠 펌프의 압축비	22
공식 2-4:	분자 흐름에서 루츠 펌프의 압축비	23
공식 2-5:	과류 밸브 열림 및 높은 전진공 압력 상태에서 루츠 펌핑 스테이션의 펌프 속도	23
공식 2-6:	과류 밸브 닫힘 및 차압에 가까운 전진공 압력 상태에서 루츠 펌핑 스테이션의 펌프 속도	23
공식 2-7:	높은 유입 압력에서 루츠 펌핑 스테이션의 펌프 속도	23
공식 2-8:	낮은 유입 압력에서 루츠 펌핑 스테이션의 펌프 속도	23
공식 2-9:	펌프-다운 시간	23
공식 2-10:	펌프 속도 계산	23
공식 2-11:	증기 배출을 위한 기체 처리량	25
공식 2-12:	응축 표면 면적의 계산	26
공식 2-13:	진공 시스템의 기본 압력	27
공식 2-14:	확산 계수(T)	28

## 4 진공 생성

공식 4-1:	압축비	59
공식 4-2:	펌프 연결 기체 흐름	59
공식 4-3:	역류 전도도	59
공식 4-4:	실질적인 압축비	59
공식 4-5:	펌프 속도 회귀 공식	59
공식 4-6:	수증기 허용치	60
공식 4-7:	수증기 용량	60
공식 4-8:	터보 펌프 압축비	84
공식 4-9:	터보 펌프 펌프 속도	84
공식 4-10:	터보 펌프 유효 펌프 속도	85
공식 4-11:	특정 펌프 속도	85
공식 4-12:	홀백 단계 펌프 속도	86
공식 4-13:	홀백 단계 압축비	86
공식 4-14:	최종 압력	87

## 6 질량 분석기와 잔류 기체 분석

공식 6-1:	운동 에너지	103
공식 6-2:	Lorentz 힘	103
공식 6-3:	힘의 균형 상태	103
공식 6-4:	경로 반경	103
공식 6-5:	4중극자 편향 전압	104
공식 6-6:	안정성 매개변수 $a$	105
공식 6-7:	안정성 매개변수 $q$	105
공식 6-8:	안정성 조건 U	105
공식 6-9:	안정성 조건 V	105
공식 6-10:	하이 패스 조건	105
공식 6-11:	RF 전력	106
공식 6-12:	산란	106
공식 6-13:	이온 전류	107

## 8 오염 관리 솔루션

공식 8-1:	표면 범위	129
공식 8-2:	오염의 투여량	129

## 문헌 찾아보기

- [1] Paul Scherrer Institut, Villigen, CH
- [2] DIN 28400-1, Edition: 1990-05, Title (German): Vakuumtechnik; Benennung und Definitionen; Allgemeine Benennungen.
- [3] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 667
- [4] G. M. Barrow, G. W. Herzog (edited), Physikalische Chemie Teil 1: Atome, Moleküle, Kerne, 5th Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 2 ff
- [5] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 17
- [6] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 23
- [7] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 25
- [8] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, Table 17.5, p. 667
- [9] Christian Edelmann, Vakuumphysik, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin 1988, p. 38
- [10] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, Table 17.6, p. 668
- [11] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 84
- [12] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 83
- [13] Christian Edelmann, Vakuumphysik, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin 1988, p. 132
- [14] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 690
- [15] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 7<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden
- [16] Christian Edelmann, Vakuumphysik, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin 1988
- [17] Jobst H. Kerspe, Vakuumtechnik in der industriellen Praxis, 3rd Edition, expert Verlag, Renningen 2003
- [18] John F. O'Hanlon, A user's guide to vacuum technology (3<sup>rd</sup> Edition), Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey, 2003
- [19] J. Delafosse, G. Mongodin, Les calculs de la technique du vide, Société française des ingénieurs et techniciens du vide, 1961
- [20] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 9<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 272

- [21] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 9<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 273 ff
- [22] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 9<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 150
- [23] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 9<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, p. 638
- [24] G. Schweitzer, H. Bleuler, A. Traxler, Active Magnetic Bearings, vdf Hochschulverlag AG, 1994
- [25] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 9<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, pp. 327–331
- [26] Karl Jousten (publisher), Wutz Handbuch Vakuumtechnik, 9<sup>th</sup> Edition, Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden, pp. 321–325
- [27] Bayard, R. T. and. D. Alpert, Rev. Sci. Instr. 21 (1950) p. 571
- [28] Hobson and Redhead, Can. J. Phys. 36 (1958) p. 271
- [29] Dawson, Peter H., Quadrupole Mass Spectrometry and Its Applications, American Institute of Physics (1997)
- [30] Gross, Jürgen H., Mass Spectrometry: A Textbook, Springer (2011)
- [31] Fachbericht Balzers BG 800003, Das Funktionsprinzip des Quadrupol-Massenspektrometers (1990)
- [32] Redhead, P. A., Hobson, J. P. and Kornelsen, E. V., The Physical Basis of Ultrahigh Vacuum, Chapman & Hall, London (1968)
- [33] DIN EN 1330-8:1998-7 Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 8: Begriffe der Dichtheitsprüfung
- [34] DIN EN 1779:1999-10: Zerstörungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Kriterien zur Auswahl von Prüfmethode und -verfahren
- [35] G. E. Moore: Cramming more components onto integrated circuits. In: Electronics. 38, no. 8, 1965, pp. 114–117
- [36] <http://www.itrs.net/Links/2011ITRS/Home2011.htm>;  
see: Yield Enhancement
- [37] P. González et al.: FOUPs Polymers Against AMCs: The HF Case, Future Fab international, issue 42
- [38] Jin, Weidong, Study of Plasma-Surface Kinetics And Feature Profile Simulation of Poly-Silicon Etching in Cl<sub>2</sub>/HBr Plasma, M.I.T., Dept. of Chemical Engineering

## 발행인 란

### **Pfeiffer Vacuum GmbH**

2013년 4월

제목: 통지 없이 변경 가능

가격: 60유로

진공 기술 책 II권: PI 0355 PEN

2부 - 노하우 북: PI 0355\_2 PEN

### 사진 제공

Pfeiffer Vacuum GmbH 제품 이미지 및 그림

### 제품 사진

Michael Gleim, Industriefotografie, 35452 Heuchelheim, Germany

### 출판사 및 내용에 책임이 있는 자

Pfeiffer Vacuum GmbH

Berliner Strasse 43

35614 Asslar, Germany

T +49 6441 802 0

F +49 6441 802 1202

info@pfeiffer-vacuum.de

www.pfeiffer-vacuum.com

### 레이아웃

Lots of Dots MediaGroup. AG, 55129 Mainz, Germany

### 인쇄

mSP druck und medien gmbh, 57555 Mudersbach, Germany