

## 제습시스템의 응용과 발전 - Membrane Dryer를 중심으로

임 지원\* · 황 해 영 · 하 성 용\*\* · 남 상 용†

국립경상대학교 고분자공학과, 공학연구원, \*한남대학교 공과대학 화학공학과, \*\*(주)에어레인  
(2003년 3월 3일 접수, 2003년 3월 10일 채택)

### Application and Development of Dehumidification Systems - Focusing on Membrane Dryer

Ji Won Rhim\*, Hai Young Hwang, Seong Yong Ha\*\*, and Sang Yong Nam†

Department of Polymer Science and Engineering, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, Jinju 660-701 Korea

\*Department of Chemical Engineering, Hannam University, Daejeon 306-791 Korea

\*\*Airrane Co. Ltd, 217-2, Shinsung-dong, Yusung-gu, Daejeon 305-805 Korea

(Received March 3, 2003, Accepted March 10, 2003)

**요 약:** 오늘날 대부분의 공압시스템에 압축공기 드라이어가 설치되어 있는데 이는 공압장치가 적절히 그리고 신뢰성 있게 작동되기 위해서는 제습된 공기를 사용해야 할 필요가 있을 뿐 아니라 이외에도 많은 이점을 더 가지고 있기 때문이다. 현재 사용되고 있는 압축공기드라이어는 전력이나, 흡착제의 사용으로 경제성이 떨어지며, 냉매제 등 환경적인 제약을 받고 있다. Membrane dryer는 경제적, 환경 친화적으로 이로우며, 각 산업체 뿐 만 아니라 제습기능과 정수 기능이 합쳐진 에어정수기의 새로운 응용으로 물이 부족한 열대 우림지역에서 사용될 수 있다.

**Abstract:** Dehumidification systems have been developed for the various applications, especially for the production of dry compressed air. Compressed air producing system attached with dehumidification unit have advantages such as high reliability, low error ratio, comfortable working conditions, etc. Conventional dehumidification systems have several economical drawbacks like high electric cost, high cost of adsorbent and it is not environmentally friendly system because freezing agent like a Freon has been used. Membrane dryer is emerging system which have economical advantages and environmental merits.

**Keywords:** membrane dryer, dehumidification, compressed air, hollow fiber, water

#### 1. 서 론

압축공기중의 수분은 공압설비의 모든 요소에 중대한 해를 입힌다. 이는 pipe line 내에 부식 및 scale을 일으켜 각종기기의 공기 통로를 막게 되는 불순물을 형성하거나, 수분 및 유분과 혼합하여 밸브의 고착, 계기의 막힘 또는 공압기기의 오작동을 일으키며, 이러한 사고 외에도 모터나 기구의 용량 및 효율을 떨어뜨리기도 한다. 또한 제품의 질에 있어서도 많은 해를 입혀서 제품의 질을 떨어뜨리는 역할을 하게 된다. 예를 들어 화학제품 제조공정에서는 원료 중에 수분과

친화성이 강한 물질이 포함되어 있으면 수분은 염소와 반응하여 부식성이 강한 염산이 만들어지는 것과 같은 이상 화학반응을 일으켜 제품 전체의 손상을 초래하기도 하기 때문에 반드시 제습을 필요로 한다.

또한 압축공기 라인이 실외에 설치되고 영하의 대기에 노출되어 있으면 압축공기중의 수분이 라인 속에서 얼어 부분설비 또는 전체설비가 가동 중지되는 결과를 초래하기도 한다[1]. Fig. 1에서 알 수 있듯이 모든 압축공기 시스템에서 수분은 중대한 해를 입히며 이를 제거함으로써 이러한 해를 막을 수 있으며 깨끗한 압축공기의 공급을 가능하게 하고 air tool이나 공압설비를 더 효율적으로 운전할 수 있게 한다. 또한 계측기나 제어장치의 정확도를 더 높혀 주고 공정상의 불

†주저자(e-mail : walden@gsnu.ac.kr)

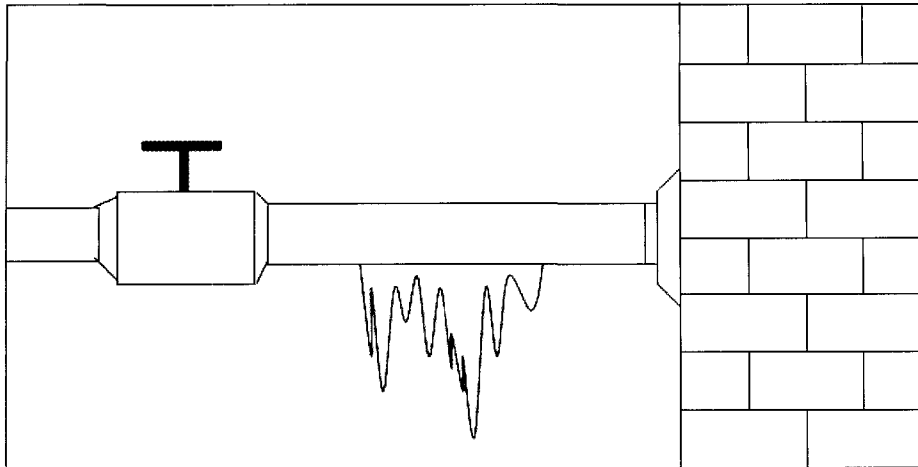


Fig. 1. Pipe line damage.

량을 막아주어 생산성을 향상시킨다.

다음으로 배관에서 발생하는 공기를 제거하기 위해서도 제습시스템이 필요하다. 대기 중에도 수증기가 포함되어 있으므로 컴프레서에서 공기가 압축됨에 따라 수증기 형태로 물을 머금은 능력은 떨어지게 되고 압축공기는 고온의 포화상태로 변해 컴프레서를 빠져나가게 된다. 애프터쿨러에서 압축공기의 온도가 떨어짐에 따라 수증기는 액체로 응축되고 이 액체가 제거되지 않으면 다운스트림 에어라인에 문제를 야기시킬 수 있다. 물론 표준 드레인이 이 액체를 제거시키게 되지만(대체로 컴프레서 제조업체는 공기가 애프터쿨러를 거쳐 드레인을 통과하도록 시스템을 구성한다) 압축공기는 여전히 상대습도 100%의 포화상태로 놓여 공기온도가 주위온도에 의해 더 떨어지게 되면 배관라인에 다시 물이 생기게 된다. 이것을 막는 유일한 방법은 에어드라이어를 설치하는 것이다.

## 2. Air Dryer

### 2.1. Air dryer의 선택 및 종류

#### 2.2.1. 기본 원리

Air dryer의 적절한 선택을 위해서 ‘상대습도’ 및 ‘이슬점’이란 용어를 정확히 이해해야한다. 상대 습도란 동일한 체적중 포화수증기량에 대한 임의의 수분 함유량을 나타낸 비율을 말하며 포화수증기량은 자연의 법칙에 의해 정해진, 즉 임의의 온도 및 압력조건 하에서 단위체적당 포함될 수 있는 최대의 수증기량을 말한다.

Table 1. Dehumidity Level/ form of dryer

ISO 8573.1 Quality Class,Water	압력하 노점	드라이어의 형태
1	-70°C	흡착식
2	-40°C	흡착식/삼투식
3	-20°C	흡착식/삼투식
4	+3°C	냉동식/삼투식
5	+7°C	냉동식/삼투식
6	+10°C	냉동식/삼투식

이슬점은 응축이 시작되는 공기의 온도를 말하며 압축공기 시스템에서는 대기압 이슬점(atospheric dew point)과 압력하 이슬점(pressure dew point)을 구별해야한다[2].

$$\text{습도} = \frac{\text{노점에서의 수증기의 포화압력}}{\text{그때의 기온에서 수증기의 포화압력}} \times 100 \quad (1)$$

대기압 이슬점은 대기압 상태에서 응축이 시작되는 온도를 나타내고 압력하 이슬점은 그 압력에서의 응축 온도를 말한다. 바꾸어 말하면 압력하 이슬점이란 포함되어 있는 수증기가 응축되지 않고 노출될 수 있는 최저온도를 말한다. Table 1에 dryer 종류에 따른 압력하 이슬점을 나타내었다.

Air system은 압력을 가진 상태에서 사용하기 때문에 대기압 하 이슬점을 기준으로 에어드라이어의 용량을 선정하면 부적당한 건조와 이로 인한 시스템의 고장을 유발 할 수 있다. 압력하 이슬점은 압축공기 라인 중에 노출되어 있는 가장 낮은 온도를 찾아서 결정

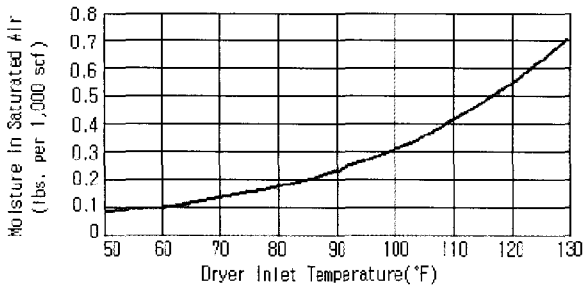


Fig. 2. Effect of temperature on moisture-holding capacity of compressed air at 100 psi.

하면 되며 이때 냉방기와 같이 온도의 저하를 일으킬 수 있는 다른 요소들도 고려해야 하는 것도 중요하다. 적당한 압력하 이슬점이 에어드라이어의 정확한 용량을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 공기로부터 수분을 제거하는 데는 비용이 소요되며 공기를 더 많이 건조시키기 위해서는 더 많은 비용이 소요된다. 필요한 것보다 너무 큰 용량을 선정하면 비용을 낭비하게 되므로 에어 드라이어의 용량은 air system의 용도에 맞게 선정 하도록 하여 실질적으로 설치비용 및 운전비용 모두를 줄일 수 있도록 하는 것이 필요하다.

적절한 에어드라이어 선택을 위해서는 이슬점 외에도 다음과 같은 요소들이 고려되어야 한다[1].

① 입구 공기 온도

입구온도는 에어드라이어의 선택에 현저한 영향을 준다. 가열된 공기는 낮은 온도의 압축 공기보다 더 많은 수분을 함유할 수 있다. 자연의 법칙에 의하면 11°C 온도가 상승할 때마다 수분 함유 능력은 두 배로 상승하게 된다. 입구공기온도를 낮게 할수록, 초기설치 비용 및 운전비용을 더 줄일 수 있다. 입구 공기온도 27°C에서 운전하는 에어드라이어는 입구온도 38°C에서 운전할 때 수분의 50%만 제거해도 된다. 이러한 입구온도의 영향은 압축공기 드라이어의 용량을 선정하는데 있어서 대단히 중요하므로, 적당히 추정하지 말고 실제로 정확하게 측정해야한다. Fig. 2는 입구 공기의 수분 함유 능력에 대한 입구 공기 온도의 영향을 보여준다.

② 사용압력

수증기의 함유능력은 압력이 높을수록 떨어진다. 따라서 압축공기의 압력은 높을수록 에어드라이어의 제습능력은 높아지며 사용압력은 공기 압축기 출구에서 에어드라이어에 설치되어 있는 장소까지의 압력이 변할 수 있으므로 에어드라이어 입구에서 측정해야 된

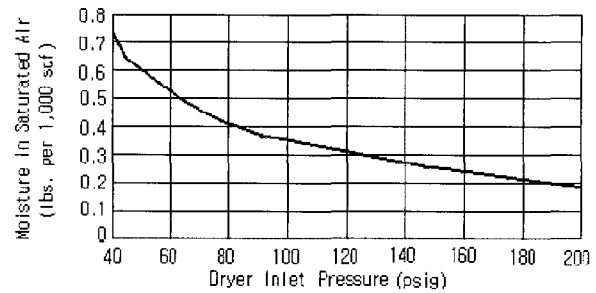


Fig. 3. Effect of pressure on moisture-holding capacity of compressed air at 100 °F.

다. Fig. 3은 입구공기의 수분함유 능력에 대한 사용압력의 영향을 나타내며 이는 에어드라이어 용량을 선정할 때 반드시 고려되어야 하며 선택된 에어드라이어는 요구된 사용압력에 적합하지 확인해야 된다.

③ 입구공기유량

입구유량(SCFM, Nm<sup>3</sup>/min)은 적합한 에어드라이어 용량 선정을 위해서 반드시 알고 있어야 된다. 대부분의 설비에서는 다수의 공기압축기에서 다수의 용도로 여러 곳에 압축공기를 공급하고 있기 때문에 사용하고 있는 공압기기의 수, 그것들의 생산자에 의해 설정된 유량을 결정하고 예상되는 air system의 증설과 같은 요소를 감안할 필요가 있다. 일단 압력하 이슬점, 온도, 압력, 유량이 결정되면 가장 효율적이고 경제적인 에어드라이어를 선정할 수 있다.

2.2. Air dryer의 종류 및 특성

2.2.1. 용해식 에어드라이어

용해식 에어드라이어는 소금, 요소, 염화칼슘 등과 같은 수분과 친화력이 있는 화학 약품을 이용한다. 그렇지만 용해식 에어드라이어의 성능은 작동온도에 의해 좌우되므로 이슬점을 낮출 수 있는 능력에 한계가 있다. 소금을 사용하는 에어드라이어는 입구공기온도보다 11°C 정도 낮게 이슬점을 얻을 수 있다. 새로운 모델은 좀 더 효율적이지만 이 역시 입구 온도가 약 21°C 이하인 비교적 낮은 온도에만 적용해야하는 한계가 있다. 또한 용해약품이 사용중 공기중의 수분과 화학약품(소금)이 반응하여 생성된 부식성 용액이 압축공기와 함께 딸려나가 압축공기 line의 중대한 해를 일으키는 문제점이 있다.

2.2.2. 냉동식 에어드라이어

대기중의 습도가 아무리 낮은 겨울철이라 하더라도

**Table 2.** Amount of Saturated Vapor with Different Temperatures( $\text{g}/\text{m}^3$ )

노점( $^{\circ}\text{C}$ )	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
90	420.1	433.6	448.5	464.3	480.8	496.9	514.3	532.0	550.3	569.7
80	290.8	301.7	313.3	325.3	337.2	349.9	362.5	37.59	389.7	404.9
70	197.0	204.9	213.4	222.1	231.1	240.2	249.6	259.4	269.7	280.0
60	129.3	135.6	141.5	147.6	153.9	160.5	167.3	174.2	181.6	189.0
50	82.9	89.96	90.9	95.2	99.6	104.2	108.9	114.0	119.1	124.4
40	51.0	53.6	56.4	59.2	62.2	65.3	68.5	71.8	75.3	78.9
30	30.3	32.0	33.8	35.6	37.5	39.5	41.6	43.8	46.1	48.5
20	17.3	18.3	19.4	20.6	21.8	23.0	24.3	25.7	27.2	28.7
10	9.4	10.0	10.6	11.3	12.1	12.8	13.6	14.5	15.4	16.3
0	4.85	5.19	5.56	5.95	6.14	6.80	7.26	7.75	8.27	8.12
-0	4.35	4.52	4.22	3.95	3.66	3.40	3.16	2.94	2.73	2.54
-10	2.35	2.18	2.02	1.87	1.73	1.60	1.48	1.36	1.26	1.16
-20	1.067	0.982	0.903	0.829	0.761	0.698	0.640	0.586	0.536	0.490
-30	0.448	0.409	0.373	0.340	0.309	0.281	0.255	0.232	0.210	0.190
-40	0.172	0.156	0.141	0.127	0.114	0.103	0.093	0.083	0.075	0.067
-50	0.060	0.054	0.049	0.043	0.038	0.034	0.030	0.027	0.024	0.021
-60	0.019	0.017	0.015	0.013	0.011	0.0099	0.0087	0.0076	0.0067	0.0058
-70	0.0051									

통상 공기압축에서 토출되는 압축공기는 포화상태이다. 또한 일정한 압력에서 포화수증기량은 Table 2에서 보여 지듯이 온도가 낮을수록 적어진다. 온도가 낮아지면 포화수증기량이 적어지는 바로 이 원리를 이용한 것이 냉동식 에어 드라이어이다.

예를 들어  $7 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 의 공기압축기에서 토출되어 에어드라이어 입구에 도달 했을 때 온도를  $38^{\circ}\text{C}$ 로 가정하면, 이 압축공기는 앞에서 언급했듯이 이미 포화 상태이다. 이 압축공기는 에어드라이어 내부에서 이슬점까지 냉동기에 의해서 강제로 냉각되고 이때 이슬점을  $4^{\circ}\text{C}$ 로 가정하면 포화수증기량은  $0.90 \text{ g}/\text{m}^3$ 이 된다. 따라서 이 포화수증기량의 차이만큼의 수증기, 즉  $6.36 \text{ g}/\text{m}^3$ 은 에어드라이어 내부에서 물로 응축이 되며 세퍼레이터에 의해 외부로 배출되어 진다. 이에 압축공기로부터 응축수가 배출되었다 하더라도 냉각기에서의 공기는 여전히 포화상태이다. 이는 에어드라이어 입구 측보다 상대적으로 훨씬 적은  $0.90 \text{ g}/\text{m}^3$ 의 수증기량이라 하더라도  $4^{\circ}\text{C}$ 에 대해서는 포화수증기량이며 따라서 상대습도는 여전히 100%이다. 그러나 이 압축공기는 냉각기를 지나 reheater를 거치면서, 혹은 주위온도의 영향을 받아 온도가 상승하게 되며, 압축공기를 사용하는 단말의 온도를  $21^{\circ}\text{C}$ 로 가정했을 때 이에 대한 포화 수증기 양은  $2.73 \text{ g}/\text{m}^3$ 이므로 압축공기중 잔존하고 있는 수증기양은 이에 대해 35.6%, 즉 상대습도가

35.6% 밖에 되지 않으므로 이 경우 물이 생길 가능성은 전혀 없게 된다. 냉동식 에어드라이어는 압축공기를 냉각하여 그중에 포함된 수증기를 응축시킴으로서 수분을 제거하는 가장 간단하고 가장 완전한 방법이다. 요구된 압력하 이슬점이 물의 빙점보다 높으면 초기설치 비용이 낮고 유지보수비와 운전경비가 적게드는 냉동식 에어드라이어가가 가장 경제적인 선택이며 이는 현재 가장 보편적으로 채택되고 있다.

냉동식 에어드라이어의 개략도는 Fig. 4와 같으며, 특징은 압력하 이슬점 선택의 폭이  $0.5^{\circ}\text{C}$ 에서  $38^{\circ}\text{C}$ 사이로 넓으며 운전하기가 간편하다. 일반적으로, 냉동식 에어드라이어에는 수분을 응축하기 위한 것과 출구공기를 재가열 하기 위한 두 개의 열교환기가 직렬로 연결되어 있어 유입된 압축공기를 냉각기에 도달하기 전에 예냉(pre-cooling)시킨다. 이 장치는 냉각 부하를 줄여주어 더 작고 가격이 싼 열교환기와 냉동 콤프레샤의 사용을 가능하게 한다. 예냉 장치는 보통 출구 쪽 차가운 공기를 이용하여 입구공기를 냉각시키는 air-to-air 열교환기이다. 이 장치는 차가운 공기를 만들기 위해 차가운 공기가 필요하므로 요구하는 이슬점까지 도달 하는 데는 운전 후 약간의 시간이 걸린다. 응축된 수분을 제거하기 위해 일반적으로 세퍼레이터가 내장되어 있다. 이 냉동식 에어드라이어는 자동 드레인 트랩이나 분리된 액체를 외부로 배출하기 위한 다

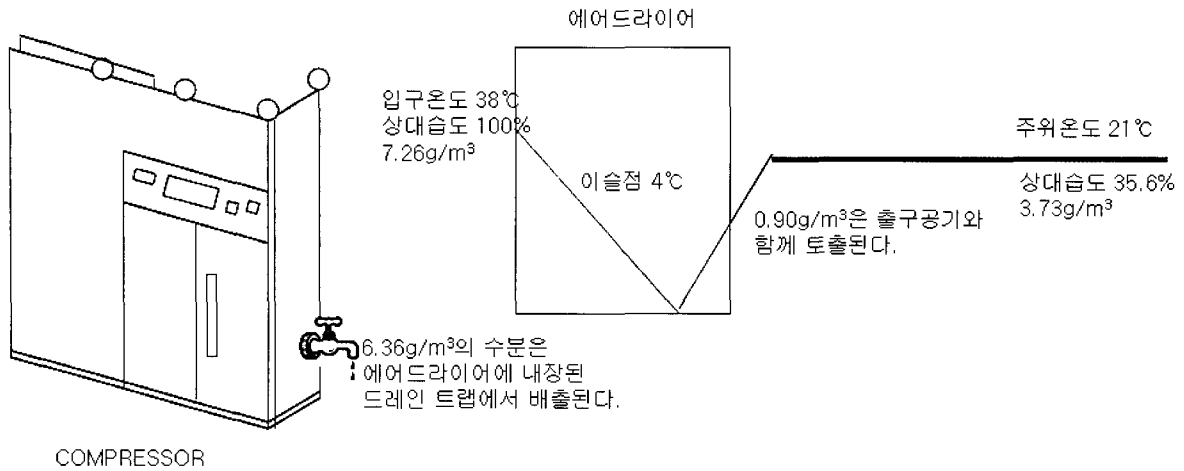


Fig. 4. Refrigerant air dryer equipment sketch.

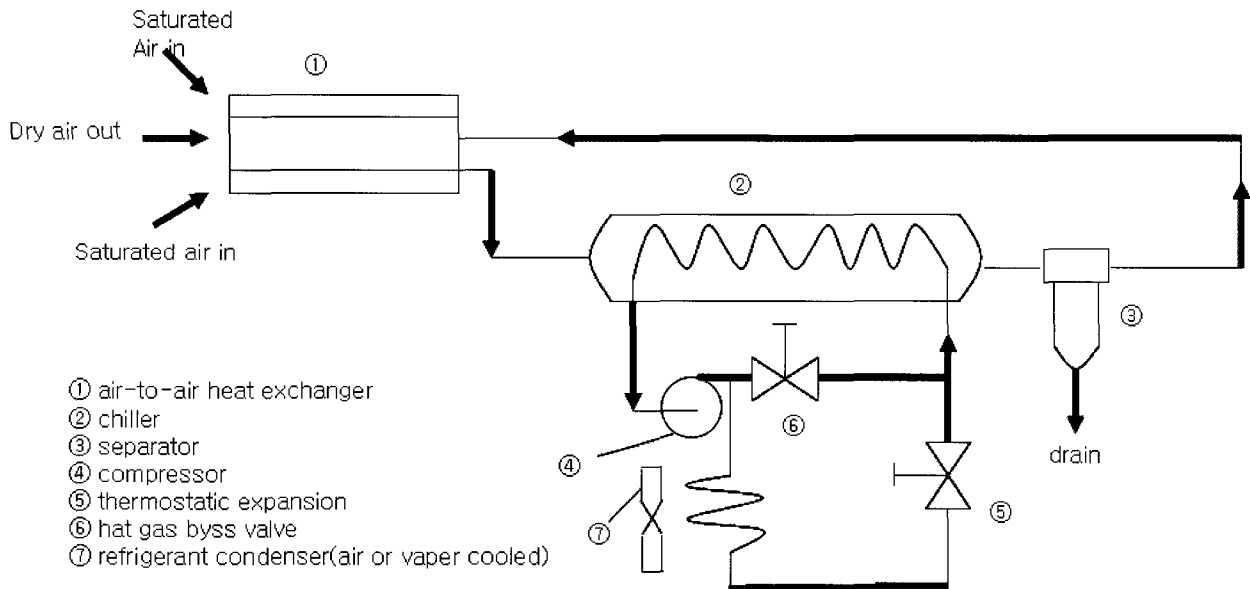


Fig. 5. Refrigerant operating principle.

큰 부품이 달린 세퍼레이터가 장치되어있다. 냉각기에 의해 분리된 수분이 압축공기와 함께 딸려 나가는 것을 방지하기 위해 확실한 응축수 제거에 세심한 주의를 기울여야 한다. 일반적인 냉동식 에어드라이어의 작동원리는 아래 Fig. 5와 같다. 습한 입구 공기가 air-to-air 열교환기(1)에 들어가 차가운 출구공기와의 열교환에 의해 부분적으로 냉각된다. 유입공기는 냉동 냉각기(2)에서 더 냉각되며 포함된 수분은 응축되고 이 응축수는 세퍼레이터와 드레인 트랩(3)에 의해 압축공기로부터 배출된다. 이때 차가운 공기는 air-to-air 열교환기를 통과하면서 부분적으로 재가열 된다. 출구 공기를 초

기 냉각원으로 사용함에 의해 입구공기에서의 50% 이상의 수분이 냉동 냉각기에 도달하기 전에 제거되며 입구공기의 예냉에 의해 냉동컴프레샤의 열부하를 크게 감소 시킬 수 있어 작은 냉동컴프레샤를 사용할 수 있다. 냉동식 에어드라이어는 유입되는 공기 부하에 감응하여 냉매의 흐름을 조절하는 두 개의 밸브가 설치되어 있다. 즉, 입구 공기의 온도나 유량의 변화에 따른 냉각부하의 변화에 따라 액체 냉매의 흐름을 증가시키거나 감소 시킨다. Hot gas bypass 밸브(6)는 냉각 부하가 감소될 때 공기온도가 너무 낮게 떨어지는 것을 막기 위해 냉동 컴프레샤(4)로부터 뜨거운 냉매

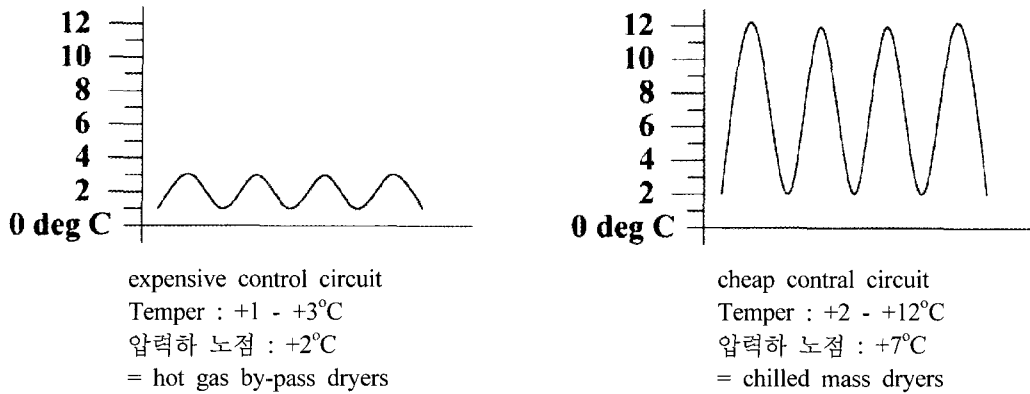


Fig. 6. Compare gas by-pass with chilled mass.

가스를 액체 냉매와 섞어서 냉동기에 가게 하도록 하여 공기유량이 적을 때 동파를 방지하고 이슬점을 계속적으로 일정하게 유지하도록 한다[3]. 냉동식 에어드라이어는 다음과 같은 방식들이 있다.

#### ① HOT GAS BY-PASS 방식

냉동기로 냉매를 열교환기에 보낼 때 감온 팽창 면만으로 냉각부하를 제어하면 과부하시에 증발온도가 저하되어 열교환기 내에 응축 수축상 동결이 일어난다. 이 때문에 증발방력 조절변을 사용하든지 hot gas by-pass 방식으로 흡입압력을 제어해 주어야 한다. 증발 압력 조절변(EPR)은 열교환기가 1조일 때는 냉동기 흡입압력의 변동이 크고, 경부하시에는 저압 스위치로 on-off를 반복하기 때문에 냉동기 연속가동에는 hot gas by-pass 방식이 좋다. Hot gas by-pass 방식은 by-pass valve로서 정압 팽창변의 일종을 쓰고 열교환기 출구의 증발 압력을 균압관을 통하여 by-pass valve로 유도하여 증발압력을 항시  $0 \pm 1^\circ\text{C}$  정도로 유지케 하는 방법이다. 이는 Fig. 6에서 나타내었다[4].

냉동기는 증발 압력이 일정하므로 응축기 축의 냉각수(냉각공기)를 일정온도로 유지하면 DP 3~5°C 공기를 얻을 수 있다[5].

#### ② 간접냉각식

간접냉각식은 냉매가 중간매질(glycol 또는 어떤 모델에 있어서는 모래까지)을 냉각시키고 이 매질이 압축공기를 냉각시키는 방식이다. 냉매회로는 중간매질의 온도에 따라 제어되어 전제부하나 무부하로 동작되며 드라이어가 오랫동안 작은 부하로 운전되면 전력비가 더 작게 들게 된다. 절약 가능한 금액은 에어컴프레서나 배관라인 개선에 의한 절약비용과 비교하면 별 것 아닐 수도 있지만 특별한 운전조건에 있어서는 중

요할 수도 있다. 이 방식의 드라이어의 노점은 중간매질의 온도에 따라 두 한계치내에 놓이게 된다. 열부하가 급격히 변화하면 노점스파이크(dewpoint spike)가 일어날 수도 있다. 예를 들면 중간매질의 온도가 거의 최대치에 이르고 유량이 정격최대치의 두 배에 달한다면 냉매회로는 에어와 중간매질 모두를 냉각시켜야 하기 때문에 대응해서 온도를 도로 낮춰주는데 몇 초간 시간이 걸릴 수 있다[4].

#### 2.2.3. 흡착식 드라이어

흡착식 에어드라이어는 압축공기로부터 수분을 제거하기 위해 비소모성 흡착제를 사용한다. 입구공기는 두 흡착제 탑에서 하나가 입구공기로부터 수분을 흡수하면 다른 것은 재생되도록 자동적으로 반복 유입되며 이 흡착식 에어드라이어는 재생방법에 따라 두가지 형태로 분류된다.

##### ① 비가열 흡착식(heatless desiccant) 에어드라이어

비가열 흡착식 드라이어에서 재생은 소량의 건조된 공기(purge air)를 제습 사이클을 완료한 건조탑에 반대 방향으로 통하게 하여 수행되며 다른 열원은 필요 없다. 비가열 흡착식 에어드라이어는 purge air를 대기에 방출시키므로 일반적으로 비용 면에서 가장 비싼 형태이다. 그렇지만 어떤 제품들은 purge air량을 주위온도의 계절적인 변화에 편리하게 수동으로 조절될 수 있도록 조절장치를(adjustable purge rate control) 장치하여 운전경비를 절감 시키고 있다. 또한 이보다 더 발전된 제품은 computer에서 입구온도 및 입출구 압력의 변화를 연속적으로 감지하고 유입되는 수증기량을 계산하여 이의 제거에 필요한 최소한의 purge air만 소모하는 것도 있으며 이는 유지비용이 월등히 절감된

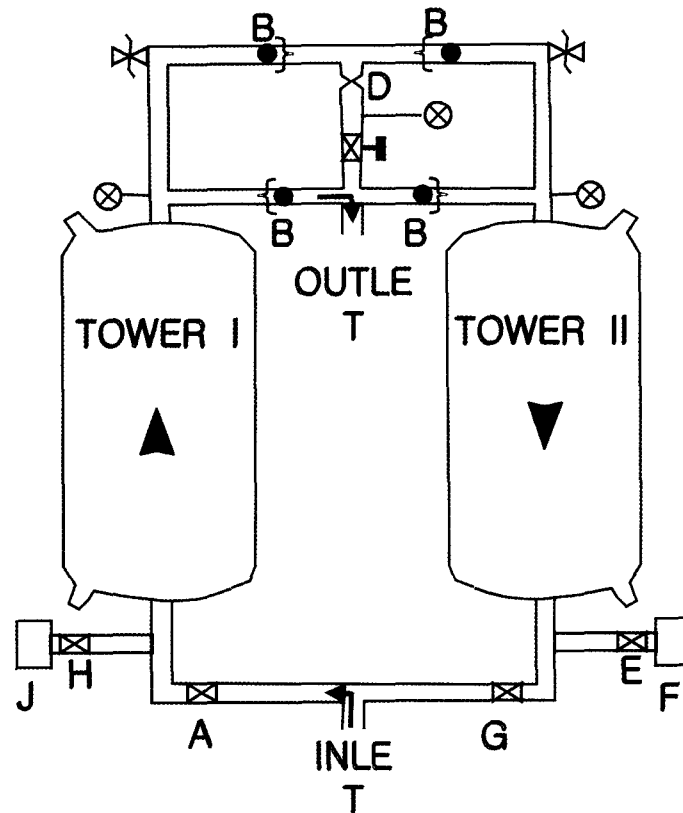


Fig. 7. Generally heatless desiccant air dryer operating principle.

다. 비가열 흡착식 에어드라이어는  $-100^{\circ}\text{C}$ 까지의 극도로 낮은 압력하 이슬점을 얻을 수 있고 움직이는 부분이 거의 없으므로 정비 비용은 가열 흡착식 에어드라이어 보다 상대적으로 적게 든다. 유분이 흡착제에 닿지 않도록 유분제거를 위한 적절한 프리필터를 선택하면 거의 반영구적 일만큼 흡착제 수명이 길다[3].

비가열 흡착식 에어드라이어의 작동원리는 다음과 같다[3]. Fig. 7에서 보듯이 비가열 흡착식 에어드라이어는 두 개의 건조탑이 자동적으로 반복 교체되어 작동함으로써 건조된 압축공기를 연속적으로 공급한다. 하나의 건조탑에서 입구공기로부터 수분을 흡수하는 동안 다른 건조탑에서는 일부 건조된 공기에 의해 재생된다. 입구공기가 에어드라이어 내부로 들어오면 타이머에 의한 전기적인 signal에 의해 작동하는 switching valve A 및 G에 의해 압축공기의 흐름방향이 조정되어 건조탑 1혹은 건조탑 2로 유입되며 제습된 압축공기는 건조탑 상부에서 check valve B를 거쳐 process air 및 purge air 두 개의 흐름으로 나뉘어 진다. 이중 purge air는 purge adjustment valve C를 거쳐 orifice D

에서 감압되어 체적이 팽창된 후 다시 check valve를 거쳐 재생할 건조탑으로 유입되어 최종적으로 역시 타이머에 의한 전자적인 signal에 의해 작동되는 purge valve E 및 muffler F를 거쳐 수분을 외부로 배출시킨다. 반면 발전된 type은 기본적인 작동원리는 purge valve E 외는 건조탑 절환을 위한 solenoid valve가 필요 없으며, 대신 두 건조탑의 압력차에 의해 별도의 signal 및 동력이 필요없이 작동하는 shuttle valve에 의해 건조탑을 절환시키며 건조탑 상부에도 역시 역류방지를 위한 check valve가 필요없이 shuttle valve에 의해 압축공기의 흐름 방향이 자동으로 조정된다. 이 shuttle valve system 은 1972년 미국의 deltech사에서 최초로 발명하였고 유효성이 필요없고 정전인 경우에도 운전을 계속 할 수 있는 것이 특징이다. 따라서 일반적으로 흡착식 에어드라이어에 있어서 가장 고장의 빈도가 높은 check valve의 필요성을 배제하고 solenoid valve의 사용을 최소화 한 간단한 구조의 type이 훨씬 신뢰성이 높고 유지보수 비용을 대폭 절감할 수 있다.

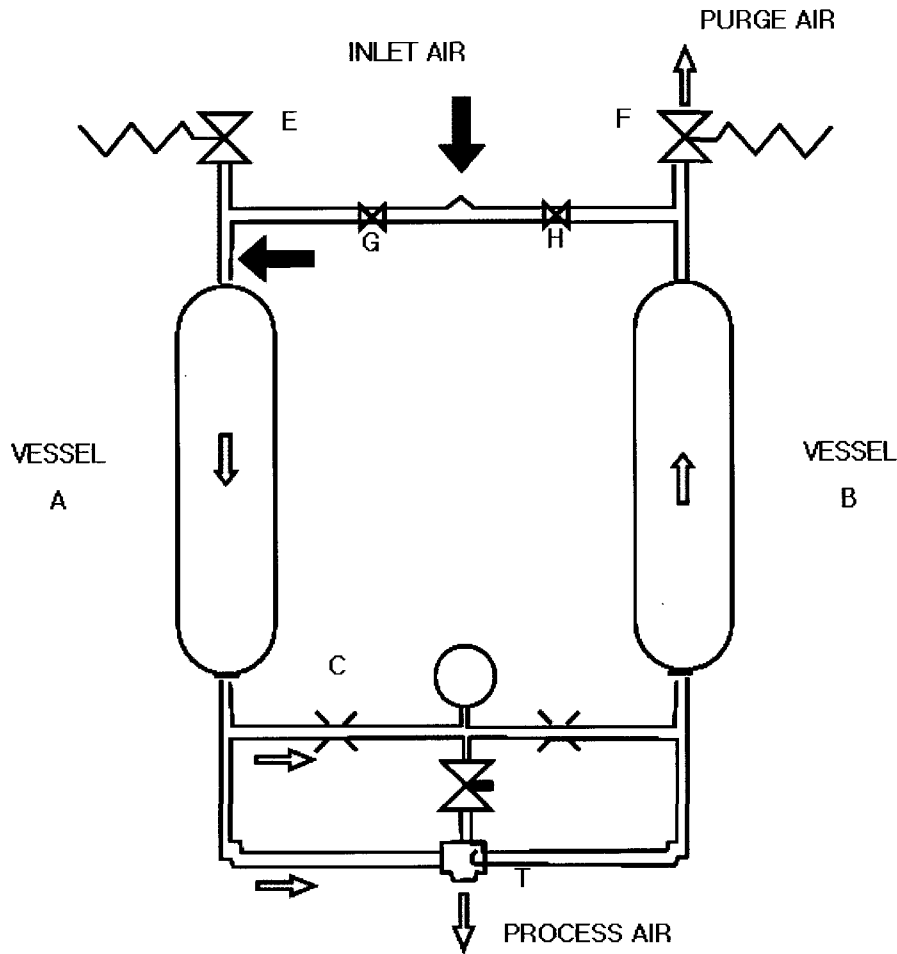


Fig. 8. Heat regenerative air dryer.

## ② 가열 흡착식(heat regenerative) 에어드라이어

가열 흡착식 에어드라이어는 비가열 흡착식 에어드라이어의 변형이며 이 종류의 에어드라이어에서는 제습 사이클을 완료한 건조탑을 재생하기 위해 전기혹은 스팀의 외부열원과 퍼지에어를 함께 사용한다. 가열함으로써 흡착제에 흡수된 수분을 증발 시키고 적은 양의 purge air로 수증기를 배출시키는데 purge air의 양을 감소시켜 어느정도 운전비용을 줄일 수 있으나 가열하기 위한 동력 비용은 상당히 높다. 열원 설계는 경제적 운전에 커다란 영향을 미칠 수 있으며 전기로 가열되는 에어드라이어 중 heating element를 흡착제 속에 직접 묻어 둔 type은 건조탑을 가열할 때 열의 분포가 일정하지 않기 때문에 재생시 cycle이 더 길어지고 뜨거운 열원은 흡착제를 높은 온도에 의해 열화 시켜 성능이 떨어지고 흡착제 수명을 짧게 한다. 과열이 방지되고 건조시키는 매체를 통하는 열의 배분이 더

일정하여 재생시 heater의 온도가 상대적으로 낮고 가열 주기가 짧아 운전비용도 위의 경우보다는 더 절감된다.

가열 흡착식 작동 원리는 다음과 같다[3]. Fig. 8에서 두 건조탑이 주기적으로 반복하여 건조된 압축공기를 자동적으로 공급한다. 하나의 건조탑에서 입구공기로부터의 수분을 흡수하는 동안 다른 건조탑은 전기히터에 의해 흡착제가 가열되고 건조된 공기의 일부분으로 수분을 배출시킴으로써 재생된다. 건조탑 A가 제습 cycle을 행할 경우 purge valve (E)가 잠기고 건조되지 않은 입구 공기는 switching valve (G)를 통하여 건조탑 A의 위쪽으로 유입된다. 공기가 건조탑 A 아래쪽으로 통과하면서 수분이 제거되며 이 건조해진 공기는 건조탑 하부에서 두 개의 흐름으로 나누어진다. 프로세스 에어는 셔틀밸브 (T)를 통해 나가고 건조된 공기의 일부분은 오리피스 (C)에서 조절되고 오리피스



(D)에서 대기압 가까이 감압되어 체적이 팽창된다. 팽창된 퍼지에어는 건조탑 B를 통과하여 위쪽으로 흐르면서 앞 cycle에서 흡착제에 의해 흡수되었던 수분은 전기히터에 의해 가열되어 수증기로 증발되어 머플러가 부착된 퍼지밸브 (F)를 통하여 대기로 방출 된다. 퍼지밸브 (F)가 잠기면 건조탑 B는 주기가 바뀔 때까지 압력이 증가하게 된다. cycle이 바뀌면 switching valve (H)가 열리고 switching valve (G)가 잠기며 퍼지밸브 (E)는 건조탑 A의 압력을 없애기 위해 열린다. 이렇게 하여 셔틀밸브 (T)는 건조탑 B가 제습 cycle을 행하고 건조탑 A가 재생 cycle을 행할 수 있도록 움직인다.

③ 블로워 흡착식 에어 드라이어

블로워 흡착식 에어 드라이어는 가열 흡착식 에어 드라이어에서 보다 더 발전된 것이며 재생시 전기, 스팀등 외부 열원을 쓰는 것은 동일하지만 건조탑 내부의 수분을 밖으로 배출하는 퍼지에어를 제습 공기중 일부를 쓰는 것이 아니라 대기를 블로워로 흡입하여 사용하며 따라서 압축공기의 손실이 전혀 없는 것이 특징이다.

블로워 흡착식 에어드라이어의 작동 원리는 다음과 같다. 프리필터를 통해 입구공기가 유입되면 3-way 밸브(셔틀밸브)에 의해 한쪽 건조탑으로 유입되고 내부로 흐르면서 제습된다. 제습된 건조공기는 흡착제 가루 및 기타 고형물질을 제거하기위한 에프터 필터(입자 필터)를 통해 출구쪽으로 나간다. 이 때 건조탑 내부에 꽂혀있는 습도 센서에 의해 건조탑 내부의 수분량은 연속적으로 감지되며 수분량이 일정이상 높아지게 되면 재생이 끝나 stand-by 상태에 있는 반대쪽 건조탑으로 교체되고 사용된 건조탑은 2-way 밸브가 열리면서 대기압 가까이 감압된다. 이 때 2-way 밸브 후단에 설치된 flow restrictor밸브(미국 ppc사 제품)는 스프링 장력에 의해 서서히 열리므로 퍼지시 급격한 압력 변동에 의한 건조탑 내부의 흡착제 손상 및 과도한 소음을 막아준다. 이 건조탑의 압력이 완전히 대기압으로 떨어지면 블로워에 의해 대기가 유입되어 히터를 거치면서 180°C~200°C 가량 가열되어 제습 cycle의 역 방향으로 흐르면서 가열 공기와 함께 2-way 밸브 및 flow restrictor 밸브를 거쳐 대기로 방출된다[3].

④ 흡착제의 종류

흡착식 에어드라이어에 사용되는 흡착제들은 크게 실리카겔, 활성화알루미나겔, 분자체 등이 있다. 실리카겔(silica gel)은 상당히 다공질이며 세공의 분포가

균일한 것이 특징이며 화학적으로 안정되어 있으며 무색무해하므로 식품산업 분야에 적합하다. 비표면적은 600 m<sup>2</sup>/g 정도이며 수분 흡착력은 대단히 커서 자중의 40% 까지의 수분을 흡착할 수 있고 이론적 최저 평형노점은 -70°C 정도이다. 재생온도는 150~180°C이며 250°C 이상 가열하면 흡착능력이 없어지며 수분과 접촉하면 잘 부서진다.

활성화 알루미나겔(activated alumina gel)은 충격과 마찰에 대한 높은 기계적 강도를 갖고 있으며 열처리된 알루미나 수화물로부터 얻어지며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 가 주성분이다. 비표면적은 300 m<sup>2</sup>/g 정도이며 수분흡착 용량은 최대 22% 정도이다. 최저 평형노점은 -76°C이며 재생온도는 175~250°C이다. 이 흡착제는 비표면적을 높이고 알루미나의 결정 방지를 위해 종종 실리카겔과 섞어 쓰는 경우가 있다.

분자체(molecular sieves)는 높은 내열성 및 높은 비표면적을 동시에 갖고 있으며 망목구조의 세공결정구조 특성 때문에 초 건조도를 요하는 분야에 적합하다. 이의 비표면적은 480 m<sup>2</sup>/g 정도이며 수분흡착 용량은 최대 22% 정도이고 재생온도는 200~320°C 정도이다.

흡착식에어드라이어에 사용되는 흡착제의 종류와 특성은 Table 3에 나타내었다[4].

2.3. 제습막(membrane air dryer)

수증기는 큰 극성을 가지기 때문에, 고분자에 비해 용해도 상수가 크며, 따라서 투과 상수 또한 매우 크다. 수증기는 상대적으로 공기(산소, 질소)나 유분보다 빨리 분리되며, 클로로에틸렌, 플루오르카본 고분자들과, 폴리이미드를 통한 수증기 투과도를 각각 Table 4, Table 5, Fig. 9에서 볼 수 있다[6]. 여기서 수증기는 다른 기체들과 비교해 볼 때 아주 큰 투과도를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 실제 응용에서는, 유분에 비해 화학적 저항 또는 열적 저항이 고려 되어야만 하므로 폴리이미드나 fluorocarbon 폴리머는 분리막을 이용한다. 제습막의 구조는 매우 큰 튜브의 내부에 극히 미세한 튜브들 다발로 만들어져 있다. Fig. 10은 외부의 튜브 안에 포함된 1개의 막 튜브로 단순화한 시스템을 나타낸다[5]. 내부의 튜브로 압축공기가 지나가게 되면 외부의 튜브와 내부의 튜브 사이의 평형이 깨지게 되고 고압의 내부에서 저압의 외부로 공기가 흐르게 된다. 막을 잘 투과하는 수증기가 외부의 튜브로 이동하고 안과 밖의 평형이 이루어진다. 평형이 이루어지면

**Table 3.** Properties of Various adsorbent

구분 \ 품명	Silicagel(실리카겔)	Activated Alumina (활성알루미나)	Molecular Sieves(합성제오라이트)	Sorbead WS	
성분조성	SiO <sub>2</sub> - 98%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 99.8%	M <sub>12/n</sub> [(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>12</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> ] 27~30H <sub>2</sub> O	Silicagel(97%)+Activated Alumina(3%)	
비중	2.2	2.6	1.1	-	
충진밀도(kg/m <sup>3</sup> )	720	800	720	-	
비열 [kcal/kg · Deg]	0.22	0.21	0.18	-	
열전도율 [kcal · m · Deg]	0.12	-	0.506	-	
기공율	0.44	0.71	0.61	-	
비표면적 (m <sup>2</sup> /g)	600	260~330	480	-	
내압강도(kg)	25	85	9	-	
내열성(°C)	250	650	600	-	
재생온도(°C)	150~180	175~250	200~320	131~216(166)	
평형흡수율 상대습도	10%	9.0	8.7	20.4	-
	40%	25.0	16.0	21.8	-
	80%	38.0	22.8	22.4	-
노점(°C)	-70	-76	-80	-80	
수분의 흡착용량 1/자중×(%)	40	13~15	-	-	
재생 후 수분잔량 1/자중×(%)	5	7	-	-	
특성	· 수분에 대한 흡착력이 매우 크고 흡습성이 우수하나 흡습시 기계적 강도가 약화되어 압축 공기용으로는 사용되지 않음.	· 기계적 충격 · 마찰에 대한 강도가 높다 · 비표면적 증대를 위해 실리카겔을 첨가 할 수 있다. · 상대습도 65% 이상시 흡습력이 급상승한다.	· 수분함량이 낮은 수증기 분압하에서도 큰 흡착량을 갖음. · 일반적으로 미량의 수분을 포함한 가스의 조건조제로 사용.	· 재생 온도가 낮아 노화율이 낮다. · Silicagel 과 비교해 흡습시 기계적 강도가 우수하다.	

**Table 4.** Gas Permeability, Diffusivity and solubility of Calendered PVC(Non Plasticity, at 25°C)

Gas	P × 10 <sup>10</sup>	D × 10 <sup>7</sup>	S × 10 <sup>3</sup>
He	2.05	28.0	0.073
H <sub>2</sub>	1.70	5.00	0.34
Ne	0.39	2.50	0.157
N <sub>2</sub>	0.012	0.038	0.312
Ar	0.012	0.012	1.0
O <sub>2</sub>	0.045	0.118	0.384
CO <sub>2</sub>	0.157	0.025	6.27
CH <sub>4</sub>	0.029	0.013	2.27
H <sub>2</sub> O	275	0.238	1,155
Kr	0.008	0.004	0.725

P : Permeability coefficient ; cc(STP) · sec · cmHg

D : Diffusion coefficient ; cm<sup>2</sup>/sec

S : Solubility coefficient ; cc(STP)/cm<sup>3</sup> · cmHg

**Table 5.** Performance Example of Gas Fluoro Membrane

Component gas	Kind of membrane	Permeation speed(Q)
		High permselective gas separation membrane (Medical use oxygen enricher)
N <sub>2</sub>		0.14
O <sub>2</sub>		0.56
H <sub>2</sub>		1.9
He		1.4
Ar		0.38
CO		0.19
CO <sub>2</sub>		2.3
CH <sub>4</sub>		0.22
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		0.21
H <sub>2</sub> O		30

[Note] Data : Measured value

Q : [Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · hr · atm]

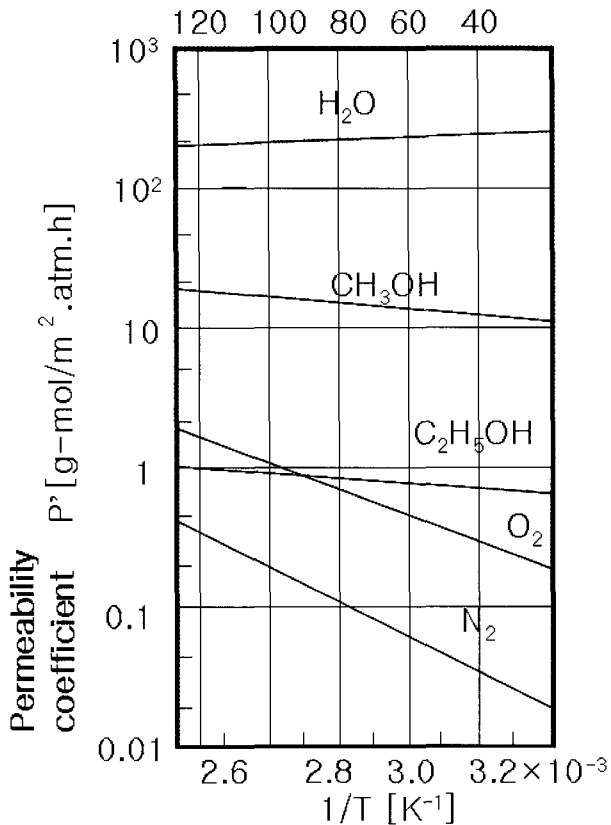


Fig. 9. Permeability of polyimide hollow fiber membrane (single-fiber)[6].

공기의 이동이 일어나지 않으므로 밖의 튜브에 purge air를 흘려주어 물이 외부로 배출되게 한다. 그 후 평

형은 깨어지고 내부의 튜브에서 건조된 공기를 얻을 수 있다. 이는 튜브안과 밖의 부분압의 차이로 인해 가능한 것이다.

2.3.1. 제습막의 종류와 형태

먼저 기체 분리막은 막의 제조 방법에 따라 크게 비대칭막과 복합막으로 구분된다. 비대칭막은 LOBE와 SOURIRAJAN에 의해서 개발된 막으로서 지지층과 활성층이 같은 재질로 되어있어 두층 중 조밀한 활성층만이 분리에 관여하며 스폰지 형태의 지지층은 활성층이 외부의 물리적 저항으로부터 보호해주는 역할을 한다. CA 막 - Cellulose Acetate가 가장 상용화 되어 있으며, 이 막의 필터링은 높은 압력을 추진력으로 하여 물질전달이 막내에서 이루어지며, 막의 기계적 안정성이 높고, 주로 RO, UF, 기체막에 이용되고 있다.

복합막은 막의 분리기능을 담당하는 활성층(비대칭막의 조밀층)과 지지층(다공층)이 기본적으로 다른 재질로 구성되어 있다. 이막의 제조방법(용해 확산설 : 막 두께를 얇게 하면 막 투과 유속이 증가)은 CARNELL & CASSIDY법, FRANCIS법 및 초박막을 다공층에 직접 coating 하는 방법이 있다. 복합막은 막의 표면적을 최대한 넓게 만들어 막투과 수량을 증가시키고 기존의 CA막에 비해 염 제거율이 월등하다. 또한 단위 막면 적당 투과유량이 적어 주로 hollow fiber type으로 사용되며, chemical과 biological agent에 대한 저항력이 크다. 제습막에서는 이 두 가지 막에 대한 다양한 응

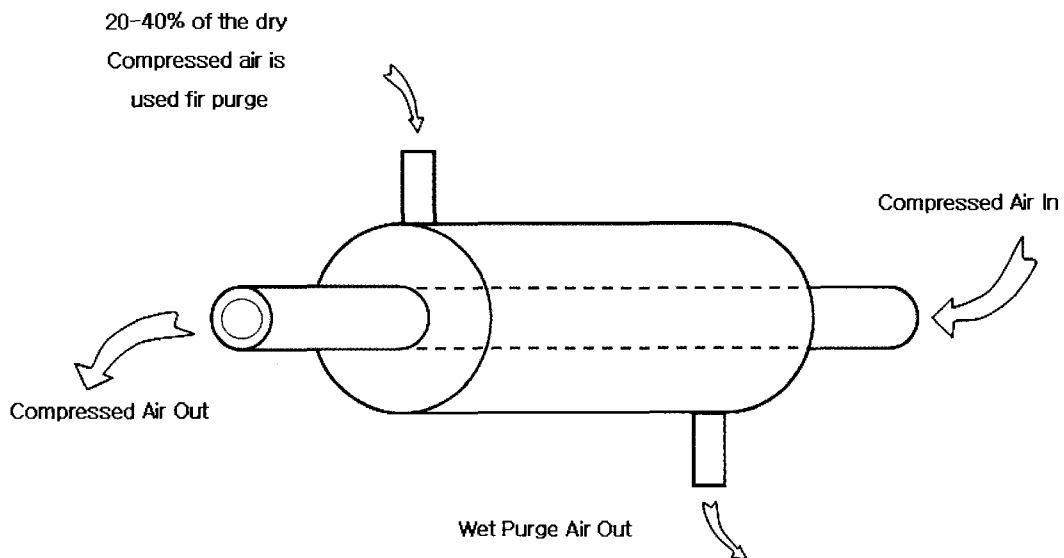


Fig. 10. Membrane air dryer.

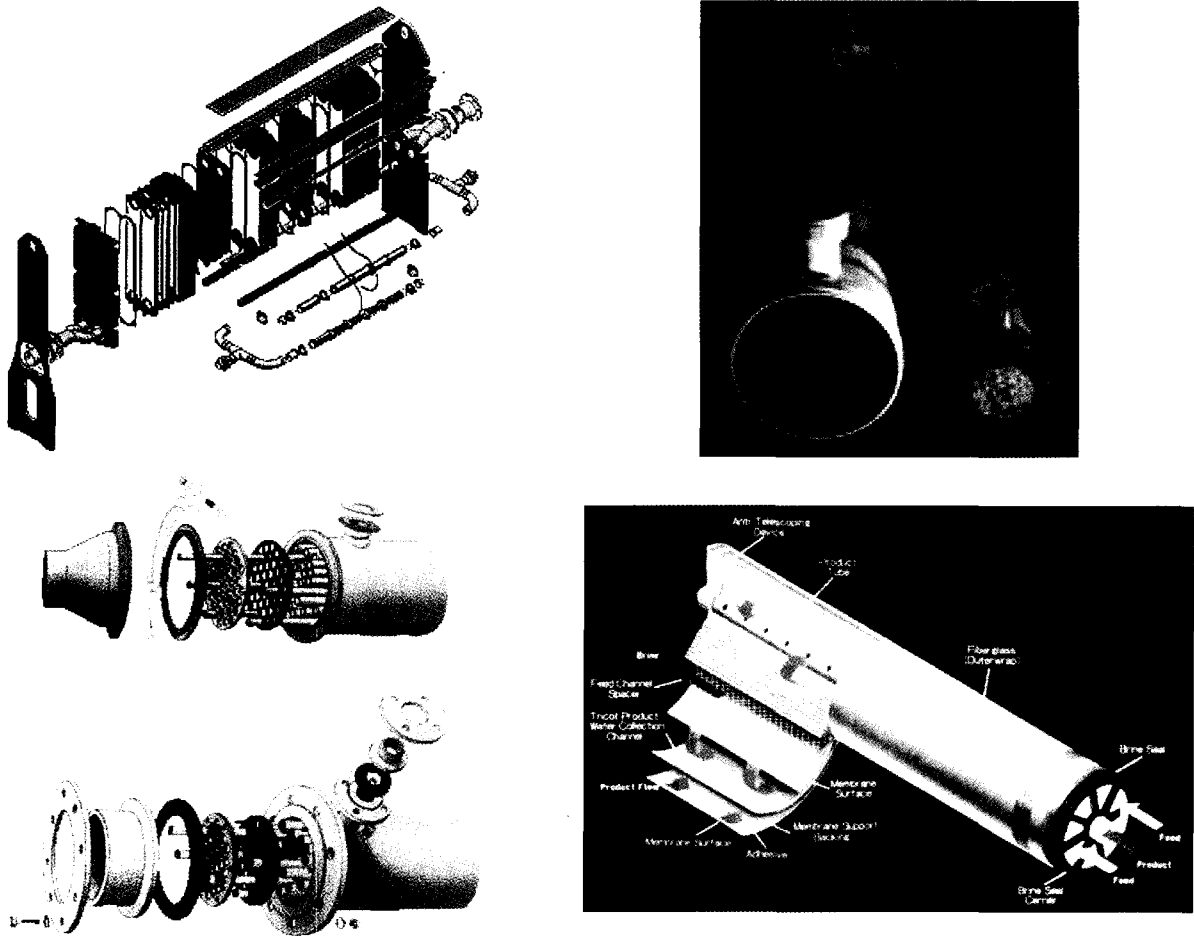


Fig. 11. Shape of membrane (a)Plate & Frame Type (b)Hollow Fiber Type (c)Tubular Type (d)Spiral Wound Type.

용이 이뤄지고 있다[1].

또한 막의 형태에 따라 네가지로 분류되는데 아래 개발된 막에서는 판형과 중공사형이 이용되고 있다[9]. 판형은 여과막 Module 중 가장먼저 실용화 됐으며 막과 지지체를 Sandwich Type으로 적층시켜 Module화 시킨 것으로 비교적 간단한 구조로 되어있다. 수처리 전 분야에서 광범위하게 사용이 가능한 반면 초기 투자비가 높은 단점이 있고, 중공사형은 외경 1.5 mm 정도의 막다발의 양쪽 끝부분을 Epoxy로 접착하여 만들며 다른 Module과는 달리 막의 지지체가 없다. 단위부피당 막면적이 넓어 설치면적은 작으나 유효면적이 작아 오염에 민감하여 고농도에는 적합하지 않다. 주로 정수처리에 많이 사용된다.

그 밖의 튜브형은 housing에 원통형으로 성형 membrane을 여러 개 장착한 module로서 가장 간단한 구조이다. 공급액의 유로가 커서 고농도의 처리에 좋으며

구조상 여러가지의 세정방법이 가능하여 수명이 길지만 높은 유속으로 운전되므로 에너지 소비가 크다. 광범위하게 사용되며 주로 생물반응(BioReactor)와 결합해서 오/폐수처리로 사용되고 있다. 나권형은 2장의 평막사이에 통수가 가능한 지지체를 넣고 막의 외면에는 그물형태의 Spacer를 적층시킨 후 Roll Cake형태로 말아서 만든 Module이다. 구조가 간단하고 투과 유속이 크며 Spacer가 농도 분극현상을 억제하는 반면 유로직경이 작아 전처리가 요구되며 Fouling 현상이 쉽게 일어나고 Membrane 수명이 짧다. 주로 순수/초순수 제조용으로 사용한다. 제습막에 사용되는 기체 분리막의 시스템 구조는 Fig. 12에 나타내었다[7].

2.3.2. 작동 원리

Fig. 13에서 나타나듯이 깨끗한 압축 공기가 드라이어(A)에 들어가고 Hollow fiber membranes의 다발로

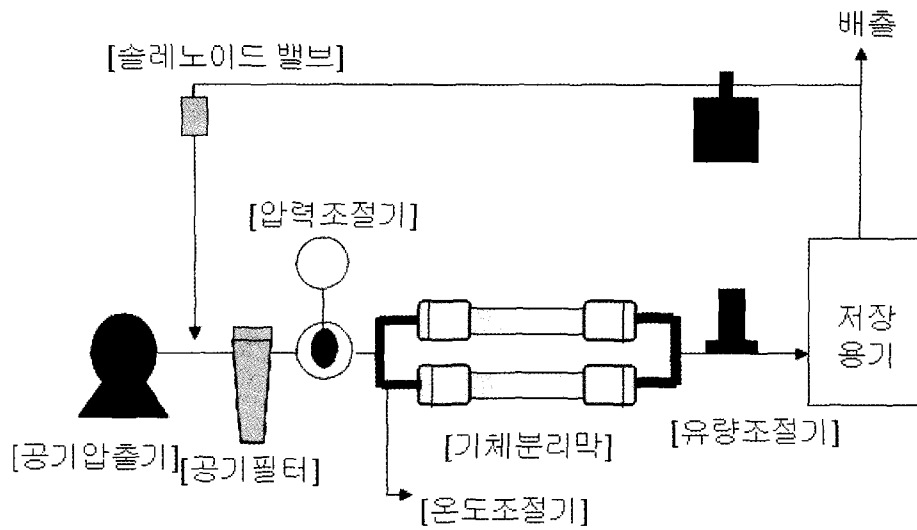


Fig. 12. Dehumidification gas separation membrane system.

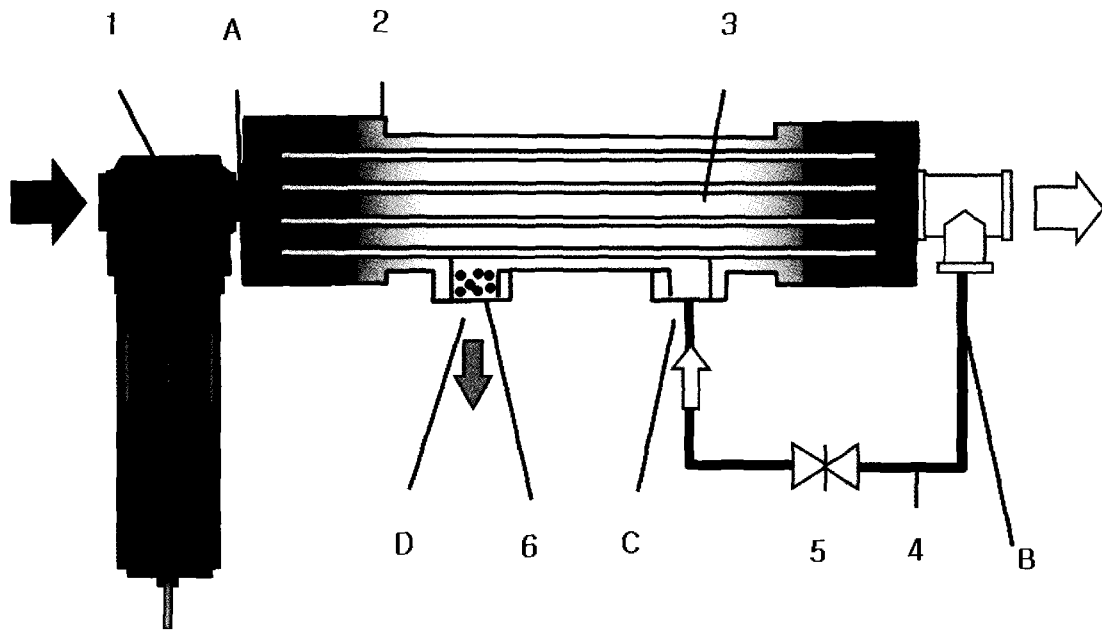


Fig. 13. Operating principle of membrane dryer.

구성된 모듈을 지난다. 압축공기가 흐르면서 물분자가 막의 벽을 통해 이동하고, 공기는 모듈에서 건조되어 떠난다. 물분자는 제거되기 위해 막 벽에 스며든다. 이것이 모듈(B) 출구에서 건조된 공기의 일부가 하는 일이다. 이 재생 공기는 대기압에서 팽창하고 수증기가 되어 제거된다. 재생공기가 출구(B)를 떠나고 by-pass(4)로 흐른다. (3)은 노즐 밸브이다. 이것은 대기압에서 팽창 되고 재생공기가 입구로 들어간다. (C) 공기는 막을 역류해서 흐르고 다시 수증기를 흡수해서 없앤다.

건조 공기는 출구(D)에 의해 드라이어를 떠난다. (6)은 소음장치 이다.

드라이어에 대한 간단한 물리적 이론은 젖은 공기는 건조된 공기보다 더 높은 부분압을 가진다는 것이다. 결과적으로 물 분자가 막 벽을 통해 젖은 공기에서 건조된 공기로 흐른다. 단지 물 분자만 막 벽에 흡수될 뿐이고, 산소와 질소는 공기흐름에서 유지되면서 호흡하기에 적당한 공기를 만든다.

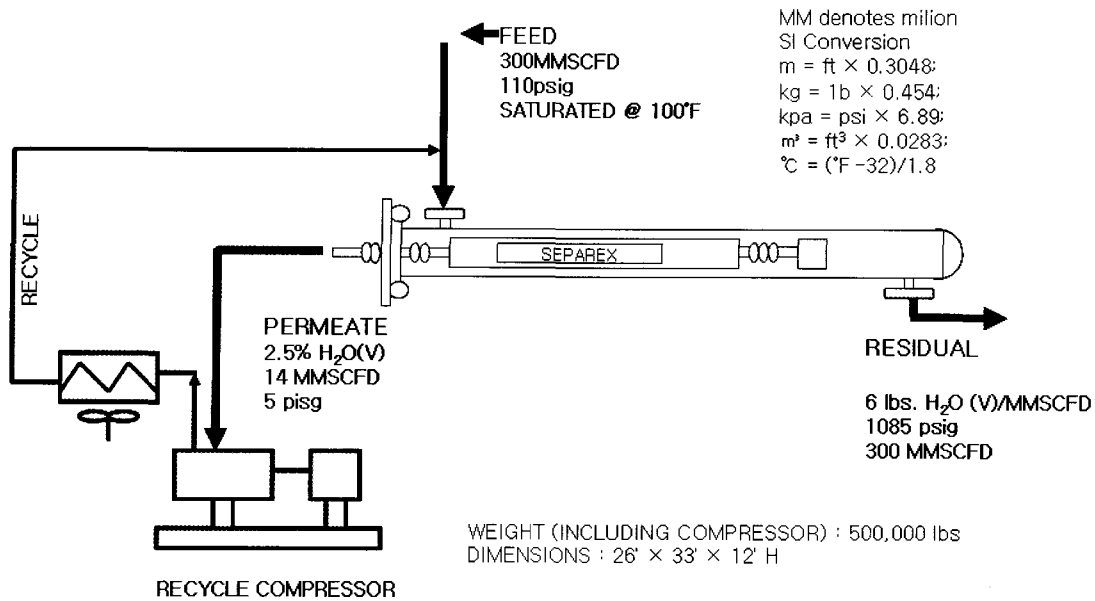


Fig. 14. Off-shore natural gas dehydration.

2.3.3. 제습막의 사례

여러 가지의 막 구조와 모듈의 구성에 따라서 실제 개발되어 사용되고 있는 제습막에 대해 알아보면 다음과 같은 제습막들이 있다[6].

① SEPAREX : “SEPAREX”

‘separex’는 셀룰로스 아세테이트(CA) 판형 막을 사용한 분리막 모듈로 CA막은 수증기가 메탄보다 500번 더 투과 할 수 있기 때문에 off-shore 천연가스의 탈수에 사용된다. Fig. 14는 대부분의 수증기와 약간의 탄화수소 가스가 포함된 천연가스 탈수 흐름을 보여준다. 이 천연가스가 기체 분리막의 외부에서 유입되어 막의 표면에서 탈수되고, 남은 천연가스만이 막을 투과한다. 다른 방법으로, 수증기와 탄화수소가스가 기체분리막을 통해 가압, 냉각, 분리 공정을 거쳐 탄화수소 가스만 재사용 된다. 혹은, 가압과 냉각공정만 거치고 분리공정 없이 연료로 사용되기도 한다. 일반적인 글리콜 흡착 단위 보다 더 작고 더 가볍기 때문에 “SEPAREX” 방법은 매우 경제적이다.

② Ube industries, Ltd : UBE membrane dryer

일찍이 UBE industries에서 폴리이미드 필름 “Yupirex”를 판매했다. 이 폴리이미드 필름을 사용하여 hollow fiber 기체 분리막을 개발했고, 1986년에 off-gas 정제소를 위한 막 형태의 수소 회복 시스템을 적용했다. 폴리이미드 중공사막이 수증기를 잘 투과 시키는 것을 Fig. 9에서 보여준다. 수증기 분리 이론은 다음과 같

다. 폴리이미드 중공사막 내부에 압축공기가 주입되어 수증기는 막을 투과하게 되고 막 내부엔 건조된 공기만 남게 되는데 이는 Fig. 13에서 잘 나타내고 있는 바와 같다. 일부 건조된 공기는 투과한 수증기를 청소하는데 쓰이고 나머지 중공사막을 통해 외부로 배출된다. 노점은 일정하고 냉각식 드라이어보다 더 낮은 노점을 얻을수 있다[8]. 이 폴리이미드 hollow fiber 기체 분리막은 알콜, 케톤, 에스테르와 같은 유분의 탈수에 적용될 수 있다. 예로, 에탄올-물의 탈수에서 폴리이미드 중공사막은 다른 분리막 보다 우수한 것을 Fig.15에서 볼 수 있다. Fig. 15의 탈수 공정에서 94 wt% 에탄올의 99.5 wt%가 탈수 되었다. Table 6은 각 공정의 특성을 비교해 보았다. 분리막 공정은 효과적으로 수분이 많이 함유된 공기를 대량 탈수 할 수 있다.

③ Asahi Glass Co., Ltd. : Dehumidifying module “SUNSEP”

유리 제조 회사인 Asahi Glass는 fluorocarbon polymers을 적용한 “HISEP” 판형 산소 농축 막 모듈을 개발했다. 이 회사는 또한 fluorocarbon 중공사형 기체 분리막을 개발했고, 가압 공기 탈수 모듈 “SUNSEP”을 발표했다. Fig. 16에서 보듯이 “SUNSEP”은 가압되기 때문에 반드시 pressure line과 접촉해야만 한다. 모듈은 직경 35 mm이고 길이 340 mm이며 0.1 Kg/cm<sup>2</sup>의 압력에 견딜 수 있다. 모듈은 대기압 7 Kg/cm<sup>2</sup>, 20°C에서 압력손실 0.1 Kg/cm<sup>2</sup>이며 노점은 -30°C로 증

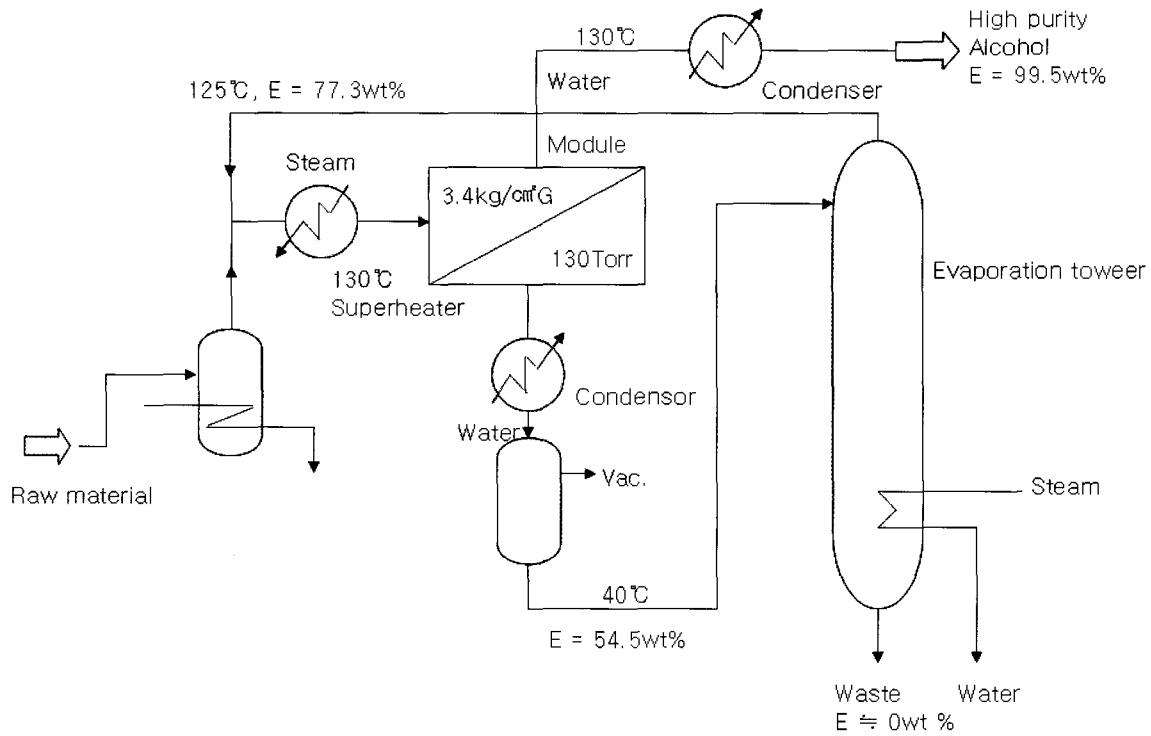


Fig. 15. Dehydration process of ethanol-water mixture.

Table 6. Comparison of Dehumidification Methods for Compressed Air

Operating method	Adsorption method	Cryogenic method	Absorption method	Membrane method
Dehumidification degree (Dew point)	High (-30~-50°C)	Low (0~-20°C)	Low (0~-30°C)	Medium~High (-20~-40°C)
Equipment area	Large	Large	Large	Small
Operation, Maintenance	Ordinary	Ordinary	Difficult	Easy
Equipment scale	Medium~Large	Small~Large	Large	Small~Large
Separation system	Adsorption	Cryogenic	Absorption	Permselectivity
Main apparatus	Tower, Tank, Heat exchanger, Blower	Refrigerating machine, Heat exchanger	Tower, Tank, Heat exchanger, pump	Membrane, Filter, Vacuum pump, Heat exchanger
Energy Consumption (kw/m <sup>3</sup> /hr)	Medium	Large	Large	Small

가한다.

④ Asahi Chemical industry Co., Ltd.: fluorocarbon 중공사막 (극성 기체 제습 막)

Asahi Chemical Industry는 self-manufactured fluorocarbon 수지를 사용해서 중공사형 기체분리막을 개발했다. 또한 막을 이용한 극성 기체 건조 시스템이 개발되었다. 이 fluorocarbon hollow fiber는 직경이 수백 microns이고 두께가 수십 microns이다. 이러한 수백개의 막이 다발로 모여있고 직경 27 mm과 길이 627 mm

의 stainless steel pipe로 만들어진 모듈에 싸여 있다. hydrogen chloride와 같은 극성 기체가 fluorocarbon hollow fiber 막의 내부에 주입되고, 오직 수증기만 막을 통과 하도록 막의 외부는 진공으로 감압되어지고, 그 때문에 극성 기체가 제습될 수 있다. Hydrogen chloride는 노점 -30°C(수분 함량 : 약 35 ppm)에서 -65°C(수분 함량 : 약 4 ppm)까지 제습 가능 하다. 이때 feed gas 의 요구 압력은 3~9 Kg/cm<sup>2</sup>G이고 모듈은 1~3 L/min 으로 처리된다. 이 극성 기체 건조 시스템은 반도체

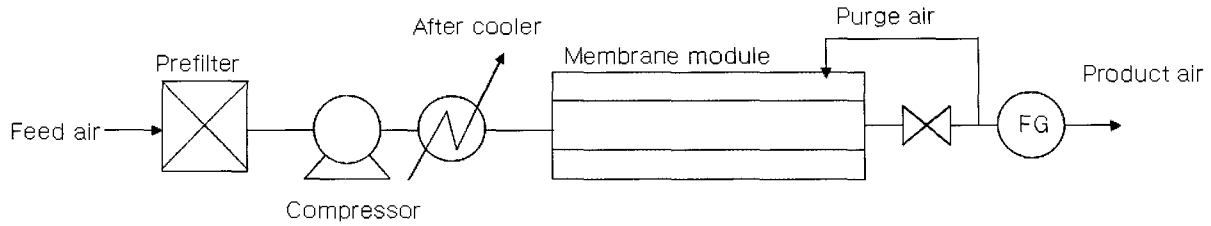


Fig. 16. Dehumidification flow of SUNSEP.

제조공정에 사용된다. 여기엔 다양한 고순도 기체가 사용되고, 질소나 수소와 같은 비극성 기체는 ppb 단위의 흡수제로 탈수된다. 그러나 hydrogen chloride와 같은 극성기체는 흡수제가 적용되기 어렵고, 강력한 수분 흡착 강도를 가져야 하므로 수분이 완전히 제거되지 않고 20~30 ppm 정도 남게 된다. 이것은 장치나 웨이퍼나 기기의 질을 떨어뜨리는 결함을 만든다. Fluorocarbon 중공사막은 먼지나 흡착제 같은 불순물이 발생하지 않고, 몇 ppm까지 탈수 시키므로 반도체 산업에 대체로 이용된다.

이밖에도 반도체 제조 공정에 이용될 탈수될 기체를 만들기 위해 hydrophobic한 튜브를 이용하는 방법이 U.S. Pat. No 20030183338에서 보여진다[9].

### 3. 결론

Membrane dryer는 기체 투과막의 원리를 이용한 것으로 헬륨, 수소, 수증기 등은 쉽게 투과하는 성분들인 반면 메탄, 질소 등은 매우 느리게 투과하는 기체성분인 것과 같이 기체의 용해-확산속도의 차이를 이용하여 공기 중의 산소와 질소를 막을 통해 분리할 수 있다.

현재 가장 상용화 된 제습 방식은 냉각식 에어드라이어이다. 그러나 이 방식은 노점이 4°C~10°C로 외부 기온이 영하의 날씨에서 결빙 현상이 발생할 수 있고, 이에 대한 조치로 부가적인 추가비용이 발생한다. 또한 운전시 전력 비용이 발생하며, 누전에 대한 관리가 필요하다. 압축기의 종류에 관계없이 사용이 가능하나, 기름이나 이 물질의 제거에 대한 자체적인 검증이 어려우므로 실 사용처에 유분에 의한 피해 우려가 있다.

이에 비해 membrane dryer는 전기가 필요 없고, 일정한 노점을 가지며 설치 공간을 적게 차지하는 등의 이점이 있다[9]. 또한 membrane dryer는 기존의 냉각식 제습기나 흡착식제습기에 비해서 에너지소모가 적고 친환경적인 공정으로서, 적당한 크기로 설치가 가

능하며, 모듈화가 가능하다는 장점이 있어서 향후에 산업용압축가스시장을 중심으로 하여서 성장가능성이 크다고 할 수 있다. 또한 Membrane dryer는 공기제어, 의학기술, 전자산업 등 여러 분야에 응용될 수 있으며 건조시 발생하는 수증기를 응축시켜 정수과정을 거쳐 정수기와 드라이어를 합쳐 물이 귀한 열대 우림 지역에서도 사용이 가능하다.

### 참 고 문 헌

1. 분리막 - <http://www.env2000.co.kr/home/membrane/mem2.htm>.
2. 압축공기 드라이어 - <http://my.dreamwiz.com/5841/airinfo/BestPractice/Dryers/Dryers.htm>.
3. 압축공기 에어드라이어(제습원리) - <http://www.jemacoflair.co.kr>.
4. Air Dryer 기술 자료 - <http://211.239.163.200/main/frame.html>
5. Compressed air dryers - <http://www.cashflo.co.uk/Dryer.html>.
6. Takeo Kondo : NEW DEVELOPMENTS IN GAS SEPARATION TECHNOLOGY p.371-378 (1992).
7. 기체 분리막 응용 분야 - <http://www.chemicore.com/pro05.htm>.
8. MEMBRANE AIR DRYER - <http://www.ube.com/page.php3?id=475>.
9. Kashkoush, Ismmail : US Pat. Application 20030183338 - membrane dryer.
10. Air Dryers - <http://www.flo-products.com/floprod/zanairpsw.html>.
11. Tsutomu Nakagawa, Vinyl and Polymers, **10**(10), 35 (1970).
12. Tsutomu Nakagawa, Ghemical Industry, Feb. 48, (1987).



13. William J. Schell, Spiral-Wound Permeators for Purification and Recovery, *Chemical Engineering Progress*, **18**(10), 36 (Oct., 1982).
14. Catalogue of "Ube Membrane Dryer", Ube Industries, Ltd.
15. Asumaru Nakamura, Satoru Ono, Kouhei Ninomiya : *Kagaku Kogaku*, **31**(9), 697 (1987).
16. *Ibid.* **51** (9), 698 (1987).
17. *THE CHEMICAL DAILY*, Jun.14 (1988)
18. Pamphlet of Dehumidification Module "SUNSEP", Asahi Glass Co., Ltd.
19. Exhibition at Shin Sozaiten (New Materials Exhibition) '89, Jun.15 (1989).
20. *THE CHEMICAL DAILY*, Nov.21 (1988)  
*NIKKEI NEW MATERIALS*, Jan.30 (1989), P.16  
*Higy Polymers*, 38(6), Extra Number, p.643 (1989).
21. *THE JAPAN INDUSTRIAL JOURNAL*, Jan.6 (1989).