◀ 技術報告 ▶

製藥工場에서의 除濕處理

徐　石　淸*

本 原稿는 1983年 8月 26日 開催된 83年度 夏季 學術講演會에서 拔萃한 것임.

1. 서　론

고온다습한 풍토에서는 습기에 의한 장해가 많다.

예를들면, 인체에 대한 불쾌감이나 산업계에 있어서 제품의 곰팡이·潮解·發錆등에 의한 품질, 생산성의 저하가 있다. 이와같은 장해를 방지하는데는 공기중에 포함되어 있는 수분을 제거하는 제습조작이 필요하다.

먼저 제약공장에서의 제습처리에 대해 논하기 전에 우선 제습의 기초와 그 응용을 들어 제습의 필요성, 제습방식의 종류에 대해 기술하면서 제습장치의 구체적인 구조, 특성 및 실시예에 기초를 두고 용도를 기술한다.

2. 제습의 필요성

제습을 필요로 하는 분야는 多種多樣하며, 범위도 넓지만 사용목적별로 분류해 보면 다음과 같다.

1) 快適環境維持
2) 結露에 의한 障害防止
3) 吸濕性제품의 품질·생산성의 低下防止
4) 錆의 방지
5) 着露防止
6) 乾燥
7) 가스중 水分의 제거
8) 省에너지

이외에도 여러가지의 사용목적이 있으나 특수한 경우가 많으므로 제외한다.

다만, 응용 및 용도의 항목을 참고하기 바란다.

2.1. 쾌적환경유지

인간을 대상으로한 쾌적환경을 만들기 위한 요인으로서 温度, 氣流 이외에 濕度가 관계되는 것은 널리 알려져 있다.

* 正會員, 韓國機械研究所 責任研究員

그림 1의 쾌감선도 1) 나 불쾌지수등에 의해 이해할 수 있다.

空調도입 초기에는 室溫을 내리는 것만이 冷房이라고 했던 느낌도 있었으나 현재에는 가정용 룸쿨러 (Room Cooler)에도 제습사이클이 설계되어 있다.

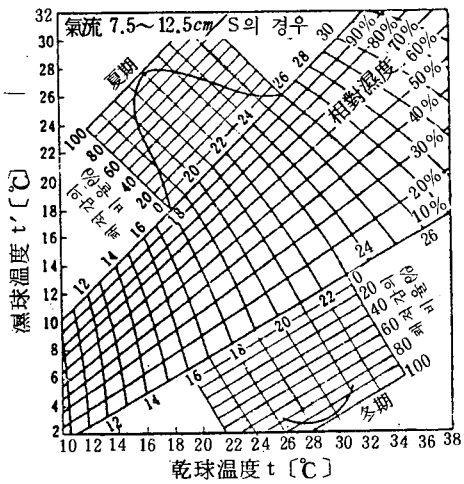


그림 1 . 쾌감선도

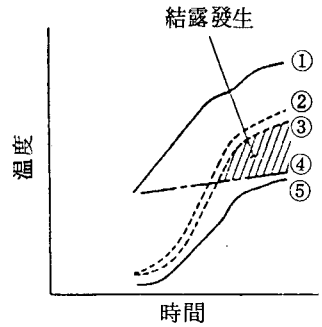
2.2 . 결로에 의한 장해방지

결로에 의한 장해는 매우 많다. 예를들면 실내공기중의 수증기가 외기에 面한 창 벽면에서 냉각되어 응축수가 유리를 흐리게하거나 벽면을 더럽히거나 하는 것은 많이 경험하는 일이다.

일반산업계에 있어서도 計裝用 압축공기 배관중에서 응축수에 의한 계기류의 誤制御와 내구성의 문제, 합성수지 사출성형기의 水冷金形面結露에 의한 성형품의 불량 발생등이 있다.

또한, 창고, 船倉에 鋼材, 통조림등 비교적 열용량이 큰 물품이 저장되어 있는 경우 물품온도 시간지연에 따른 결로현상이 있다.

그림 2에 이 경우의 결로발생원인을 나타냈다.



① 外氣温度 ② 倉庫內露點温度
③ 外氣露點温度 ④庫內品物表面温度
⑤ 除濕裝置運轉時의 庫內露點温度

그림 2 . 물품온도 시간지연에 의한 결로 발생원인

2.3 . 흡수성 제품의 품질·생산성의 저하 방지

고온다습한 환경하에서는 식품에 곰팡이가 발생한다.

유익한 곰팡이에서는 주류, 간장, 요구르트 등의 발효식품이 생기지만 이와 반대의 경우에는 사루모넬라 (salmonella), 脹炎 비브리오, 보쓰리누스 등의 세균이 번식하고 무서운 식중독의 원인이 된다.

이와 같은 곰팡이는 일반적으로 습성곰팡이라 하며 그림 3 [2]에 나타난 바와 같이 습도가 높은 범위에서 발육한다. 또 금속이나 랜즈의 표면에도 수분이 흡착하여 乾性곰팡이가 발생하여 여러가지 장해를 일으키고 있다.

그림 4 [3] 는 각종 재료의 平衡含水率을 표로 나타낸 것이지만 함수율은 상대습도의 영향을 강하게 받고 있다. 이 함수율은 재료의 강도, 외관, 伸縮, 중량등에 크게 관계되므로 품질관리나 생산성 향상을 위해 습도관리가 필요하다.

흡습성이 있는 약품, 화학비료 등의 분말체 顆粒 狀인것의 장기보존의 경우에는 潮解가 발생하여 固結化하여 유동성을 잃게되어 취급이 극히 곤란하게 된다.

조해는 보관물질이 갖는 포화수증기압과 대기중의 수증기분압의 평형이 깨져 대기중의 수분을 흡수하여 용해하는 현상이다.

그림 5는 尿素肥料의 조해곡선이며, 사선부분에 대해 습도조정함으로써 조해를 방지하고 있다.

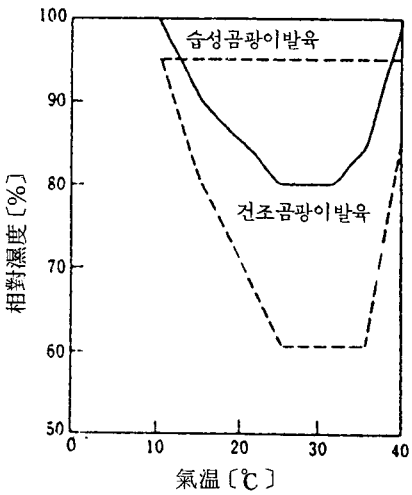


그림 3 . 곰팡이발육의 온습도범위

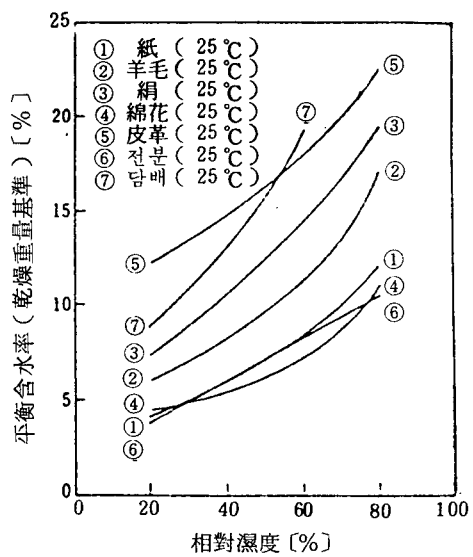


그림 4 . 각종재료의 평형함수율

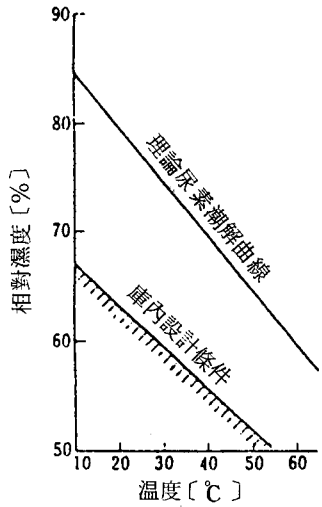


그림 5 . 요소비료의 조해곡선

2.4 . 녹의 방지

대기중에서의 철의 부식은 상대습도의 영향이 가장 크다.

그림 6은 그 대표적인 예로서 상대습도가 50 — 60 %를 넘기면 급격히 부식이 진행됨을 나타내고 있다.

부식원리는 상대습도가 100 % 이하에서도 금속표면에 있어서는 흡착현상에 의해 매우 얇은 水膜을 형성하고 여기에 공기중의 산소가 보급되어 赤寂이 발생한다.

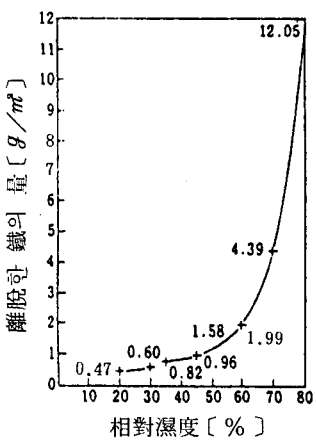


그림 6 . 海鹽을 포함한 습한공기중의 鐵片부식량

대기 부식에서는 發錆因子로서 수분, 산소, 염분 이외에도 亞流酸가스, (SO_2)등의 대기혼합물질에 의한 영향도 크지만, 이 경우에도 그림 7[4]에서 보는 바와 같이 상대습도에 크게 좌우되고 있음을 알 수 있다.

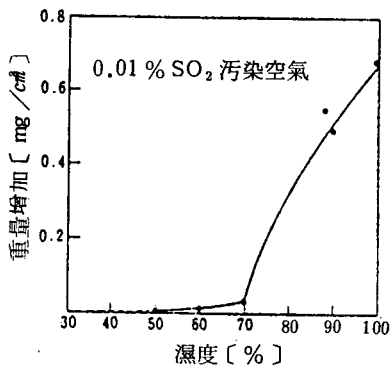


그림 7. 습도와 아류산가스가 철의 부식에 미치는 영향

防食加工을 실시하지 않은 철판에서는 표면의 광택을 유지하기 위해 30 – 50 %의 상대습도 환경하에서 보관하는 것이 필요한 것으로 되어 있으며, 특히 도장전 처리에서 행하는 샌드 블라스터 (sand blast)등에서는 철의 표면이 노출하므로 습도 관리가 요구되는 경우가 많다.

2.5. 서리방지

실험실, 냉장고 등에서 실온을 빙점이하로 하는 경우가 많지만 냉각코일에서 응축한 수분은 冷却傳熱面에서 霜로 되고, 이 결과 통과 풍량이 감소하여 냉각능력저하를 초래한다.

보통, 이런경우에는 디프로스트 (defrost, 除霜)조작을 하지만 이 조작에 따른 실내온습도의 변화를 꺼리는 경우가 있다.

이런 경우에는 냉각코일의 서리방지에 전열면 온도보다 낮은 노점의 건조공기를 공급하든지, 직접 액체흡수제를 전열면에 散布하는 방법이 이용되고 있으며 이 목적에 제습장치가 사용된다.

2.6. 건 조

건조방법에는 天日乾燥, 熱風乾燥가 일반적이지만 온도를 올리기 때문에 피건조물을 변질시키는 일이 있다.

예를들면, 식품에서는 지방분에 의한 酸化變色, 芳香의 散逸, 이상한 냄새 (異臭)등이다.

이때문에 상온에서 건조시킬 필요가 있으나 이때의 문제점은 건조속도가 낮아지는 것이다.

식(1)은 건조속도와 건조용 송풍공기의 절대습도와의 관계를 나타낸 것이다.

$$Rc = \frac{hc}{Ch} \ (Hm - H) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

여기서,

Rc : 건조속도〔 kg/m² · h 〕

hc : 境膜傳熱係數〔 kcal/m² h · ℃ 〕

Hm : 건조용 공기의 습구온도에 상당하는 포화절대습도〔 kg/kg (DA) 〕

Ch : 건조용 공기의 습한 비열〔 kcal/kg · ℃ 〕

H : 건조용 공기의 절대습도〔 kg/kg (DA) 〕

식(1)에 나타낸것과 같이 hc가 일정하다면 건조속도 Rc는 (Hm - H)에 비례한다.

상온건조에서는 아무래도 (Hm - H)가 작게되므로 건조용 공기의 절대습도 H를 작게할 필요가 있다.

고온에서 품질이 낮아지는 약품, 魚介類등의 건조에는 제습장치를 이용하여 상온에서 건조시키는 예가 많다.

2.7. 가스중 수분의 제거

병에 充塡되어 있는 산소, 질소등의 가스는 深冷法에 의한 분리 증류식에 의해 공기로부터 제조되는 경우가 있다.

이때의 분리온도는 -150 ~ -190 ℃에도 이르며 처리가스중에 수분이 혼입되어 있는 경우는 배관이나 열교환기중에서 동결하고 閉塞사고를 일으키므로 완전히 수분을 제거할 필

요가 있다.

또한, 석유화학관계에서 석유를 분해하여 에틸렌이나 플로필렌등의 각종 원료가스를 제조하는 경우에는 精製分離하기 위해 냉각, 가압조작이 필요하다.

이때 가스중에 수분이 잔류하고 있으면 水和物(固體結晶物)을 형성해서 플랜트중의 기기나 배관에 부식, 폐쇄등이 발생하므로 이를 제거하기 위해 제습장치가 설치되어 있다.

2.8. 에너지절감

제철소에서는 高爐중에 철광석과 코크스를 넣어 로내에 1,200℃의 열풍을 보내 銑鐵을 연속적으로 제조하고 있다.

또한, 주조공장에서도 鑄鐵을 만들기 위해 큐포라(Cupola)(溶銑爐)의 羽口로부터 송풍하고 있다.

이 송풍공기중에는 당연히 수분이 포함되어 있으며 이 수분이 고온에서 산소와 수소로 解離하고 다량의 열 에너지를 흡수한다. 이 흡수된 열량을 보충하기 위해 큐포라에서는 여름철에는 겨울철에 비해 주철 1t당 2%전후의 코크스 사용량이 증가한다. 또한, 로내의 온도가 흡열에 의해 내려가고 湯(溶融鑄鐵)의 온도가 내려가기 때문에 주물의 불량율이 높다.

그 대책으로서 송풍계통에 제습장치를 설치하여[12] 건조공기를 공급함으로써 에너지절감효과와 생산성향상을 도모하게 된다.

3. 제습방지의 종류와 원리

실용적으로 응용되고 있는 제습방식을 원리적으로 분류하면 다음과 같다.

1) 冷却式 除濕法
2) 壓縮式 除濕法
3) 吸收式 除濕法
4) 吸着式 除濕法

실제의 제습조작에 있어서는 위의 제습법 가운데 어느 것을 단독으로 사용하거나 또는 각 방식을 조합한 것을 채택하는 경우가 있다.

3.1. 冷却式 除濕法

이 방법은 널리 이용되고 있는 방식으로 냉매 이용의 냉각코일, 또는 냉수의 에어와셔(Air Washer)등으로 습한 공기가 갖는 노점온도 이하로 냉각함으로써 제습이 이루어진다.

노점온도는 제습조작을 취급하는 경우에 많이 사용되는 용어로 이것은 어떤 습한 공기의 수증기분압과 같은 수증기압력을 갖는 증기의 포화온도를 그 습한 공기의 노점온도라 정의한다.

예를들면, 어떤 습한공기를 냉각해가면 드디어는 어느 온도에서 공기중의 수분은 수증기로서 존재하지않고 즉 포화상태로 되어 마침내는 서리를 맺기 시작하는 점이 있으며 이 온도가 노점온도이다.

그림 8은 대기압하에서 포화온도(노점온도)와 포화수분량을 절대습도로 나타내는 것으로 포화온도와 절대습도의 對數値와는 거의 비례관계에 있음을 알 수 있다.

냉각제습의 원리는 이 특징을 이용한 것으로 습한 공기를 냉각하면 할수록 포함할 수 있는 수분량은 적어지고, 저노점의 공기가 얻어진다.

이 그림에서 주의할 것은 0℃ 이하에서 절대습도를 구하는 경우 과냉각수(純水를 除冷함으로써 0℃ 이하에서도 液狀인 물)와 접하는 공기의 수증기압으로부터 구한 것과 氷과 접하는 공기의 수증기압으로부터의 것이 있으며, 동일 포화절대습도에서도 -50℃부근에서는 얼음과 접하는 쪽의 노점온도는 4℃ 정도 높아진다.

일반공업용으로서는 얼음과 접하는 경우의 수치를 사용하고 있다.

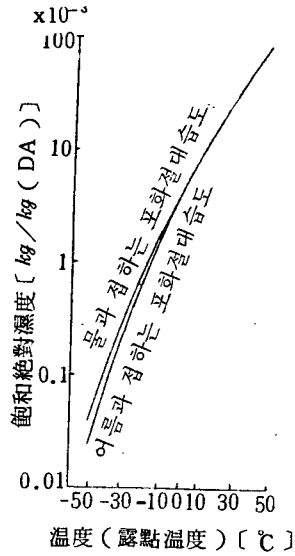


그림 8. 포화절대습도(물, 어름과 접하는)

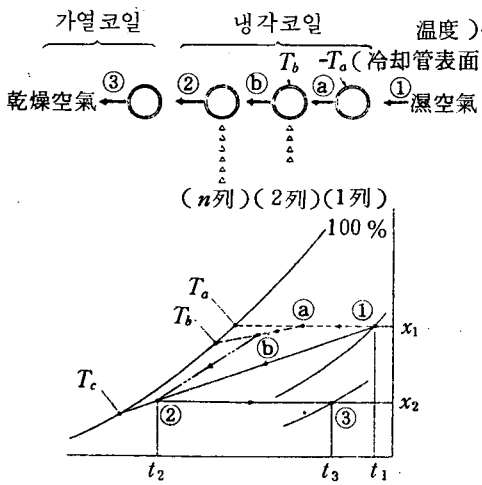


그림 9. 냉각식 제습법 원리도

그림 9는 냉각식 제습법에서의 제습조작을 습공기선도상에 나타낸 것이다. (1)의 점에서 냉각코일에 들어간 공기는 우선 1열째의 코일 표면온도 Ta와 완전히 접촉하고, 이 온도까지 냉각된 공기와 전혀 접촉하지 않았던 (1)의 공기가 혼합한것으로 생각하면 (a)로 된다. 이 공기는 다음에 2열째의 코일 표면온도 Tb와 접촉하여 제습하기 시작한다. 1열째와 마찬가지로 Tb의 온도까지 냉각된 공기와 (a)의 상태의 공기가 혼합하여 (b)의 공기가 된다. 이 조작이 냉각코일 최종의 n열까지 계속하면 (1)의 공기는 (2)의 상태에서 냉각코일을 나가는 것으로 생각할 수 있다.

이 경우 냉각코일에서의 제습은 x1 으로부터 x2 까지로 한다.

또한, 냉각 코일 전체의 평균 유효표면온도(장치 노점온도)를 Tv라 생각하고 이 온도까지 냉각된 공기와 미냉각 공기(1)과의 혼합공기상태 (2)가 코일 출구 상태로 되는 경우도 많다.

이 경우의 제습한도는 냉각코일 표면온도Tv와 코일통과풍속·코일구조에 따라 정하는 바이패스 팩터(Bypass Factor) 또는 콘택트 팩터(Contact Factor)에 따라 정한다.

(2)의 상태까지 제습된 공기는 보통, 상대습도가 80－95% 정도로 높기때문에 상대습도도 낮게하고자 하는 경우에는 t_3까지 가열하여 (3)의 상태로 한다.

3.2. 壓縮式 除濕法

공기가 포함할 수 있는 수분량은 그림 8에 나타낸 바와같이 온도에 따라 결정되지만 이 수분량은 습공기全壓 76mmHg의 상태이며 이 압력이 변화하면 동일 공기온도에서도 달라지게 된다. 식 (2)는 이관계를 나타낸것이다.

$$x = \frac{0.622h}{H-h} \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서,

x : 포화온도 t〔℃〕에 있어서 절대습도〔kg／kg (DA)〕

h : 포화온도 t〔℃〕에 있어서 포화증기압〔mmHg〕

H : 습공기의 全壓力〔mmHg〕

0.622 = 물의 분자량／공기의 분자량

이 관계식 (2)로부터 구한 각 습공기 전압에 대한 포화온도와 절대습도의 관계를 그림 10에 나타낸다.

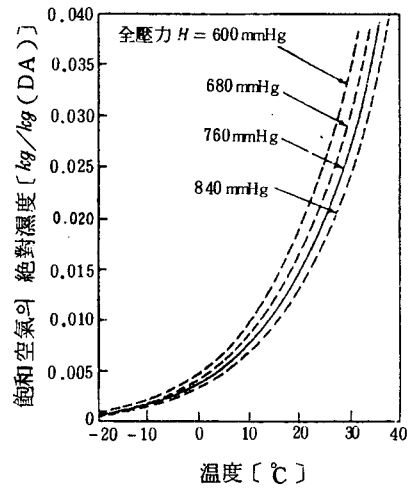


그림 10 . 습공기전압변화에 의한 포화절대습도의 변화

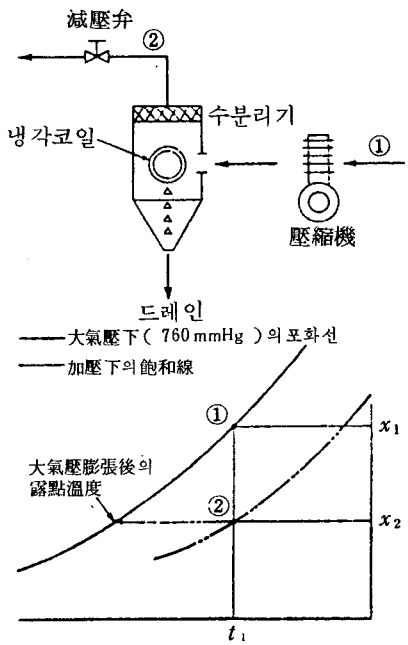


그림 11 . 압축식제습법 원리도

압축식 제습법의 원리는 이와같이 동일온도에서도 포함할 수 있는 수분량은 대략 습공기 전압에 역비례하는 특성을 이용한 것이다.

예를들면 그림 11에서 보는 바와같이 대기압하에서 절대습도 x_1〔 kg／kg (DA) 〕의 포화공기를 압축장치에 의해 가압했다고 하자, 이 경우 압축후의 공기온도는 냉각 코일 등에 의해 입구공기온도와 동일하게 되었다고 생각하면 $x_1 - x_2$ 의 수분이 냉각코일과 水分離器에서 제습된 것으로 된다.

그후, 減壓辨으로 대기압까지 등온상태로 팽창시키면, 압력하에서의 포화상태에 있던 공기(2)는 대기압하의 공기선도상에서 x_2, t_1 로 읽을 수 있는 공기상태로 되며 상대습도 노점온도도 낮아진 건조공기가 얻어진다.

이 방법으로 제습하는 경우의 제습한도는 壓縮壓力과 압축후의 冷却溫度에 따라 결정된다.

압축에 수반하여 온도가 올라가므로 냉각과 병용하면 효과가 크다.

동일량을 감습하는데 타 방법에 비해 소요동력이 많이 들므로, 압축공정이 타목적에 쓰이는 경우라든가, 소규모 장치에서 냉동기를 쓰지않고 건조공기를 얻는데 주로 이용된다.

3.3 . 吸濕劑法

공기중의 수분을 흡습제에 의해 제습시키는 방법으로, 사용되는 흡습제의 종류에 따라 吸着法(Adsorption)과 吸收法(Absorption)이 있으며, 다음 그림 12는 흡습제 (Sorbent materials) 또는 흡습장치 (Sorbent equipment)를 사용하여 제습시키는 세가지 방법에 대한 설명을 습공기선도 (Psychrometric chart)로 나타낸 것이다.

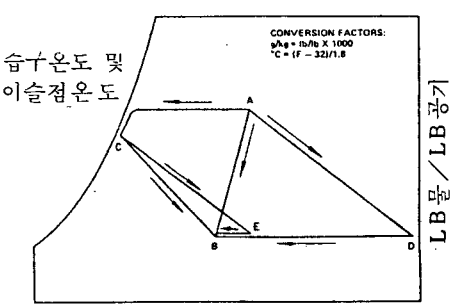


그림 12 . 제습방법

보통 산업계에서 제습기라함은 대기압 상태에서 작동하는 장치로 제한하고 있다.

A점 상태의 공기를 B점 상태의 공기로 제습 및 냉각을 할 경우에

(1) 액체 흡습장치내에서 A점의 상태 공기를 냉각함으로써 직접 얻어질 수 있다.

(2) 고체 흡습장치내에서 A점에서 C점으로 예냉과 제습, 그리고 C점에서 E점으로 건조시키고, 마지막으로 E점에서 B점으로 후냉함으로써 얻어진다.

(3) 고체 흡습장치로 A점에서 D점으로 건조시키고, D점에서 B점으로 냉동시킴으로써 얻어질 수 있다.

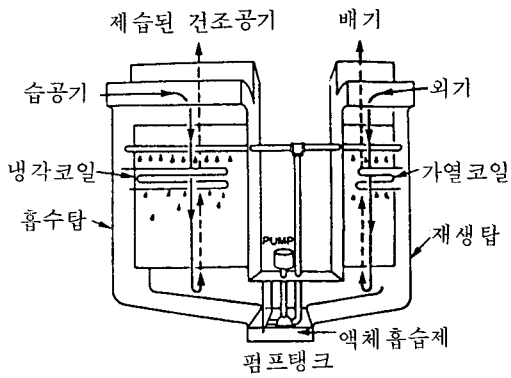
3.4. 吸收式 除濕法

이 방법은 고형 또는 액상의 흡습성물질에 의해 제습을 하는 것으로, 염화칼슘등의 고형흡습제는 건식회전형 제습기에 주로 쓰이고, 액상흡습제를 이용하는 경우도 있으며, 연속적이고 용량도 대규모의 것까지 있다.

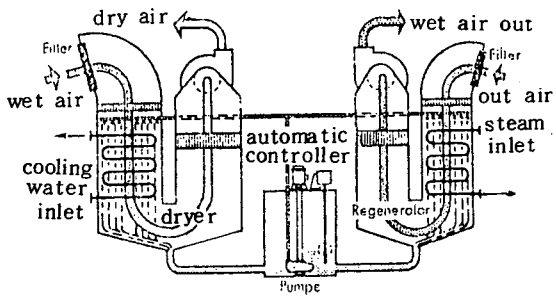
3.4.1. 液體吸收式 除濕

이 제습방법은 다음에 설명할 고체흡수식제습법과 같으며, 다만 흡습제의 상태가 액상이라는 것만 다르다. 액체흡습제로는 주로 염화리치움(Licl, lithium chloride), 트리에칠렌글리콜($C_6H_{14}O_4$)(triethylene glycol), 취화리치움(LiBr)(lithium bromide), 염화칼슘($Cacl_2$)(calcium chloride)등을 사용하여 액상의 흡습제를 쓰므로 습식이라고도 한다. 그림 13은 이 방식의 제습구조도로서 크게 나누어 흡수탑과 재생탑, 펌프탱크의 3부분으로 구성되어 있다.

흡수탑에서 흡수액의 수증기분압과 공기의 수증기분압과의 차에 의하여 제습하고자 하는 공기중에 흡수액을 분무하여 공기중의 수분을 액에 흡수시켜 제습을 행한다. 이때 발생하는 수증기의 응축열 및 흡수열은 냉각코일에서 제거된다.



액체흡습식제습기 계통도



염화리치움—액체흡수식제습

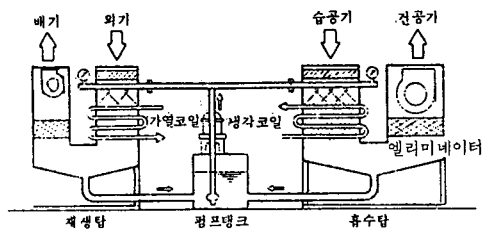


그림 13. 액체흡수식 제습기

분무되는 용액은 용도가 짙은 용액의 상태이나 공기로부터 수분을 흡수하므로서 희석된 용액의 상태로 되어 펌프에 의해 재생탑으로 보내어지며 그곳에서 가열코일로 가열되어 용액중의 수분은 증발하여 재생공기와 함께 대기로 배기된다. 재생된 농도가 짙은 용액은 펌프탱크를 거쳐 다시 흡수탑으로 보내어져 순환을 반복하게 된다. 염화리치움용액은 금속에 대한 부식성이 대단히 강하여 부식방지제로 중크롬산(6가 Cr)을 첨가하고 있는데 이 물질은 인체에 유해한 발암물질로 밝혀

져 현재 선진 제국에서는 그 사용이 규제되고 있다.

제습되는 양은 흡착제 용액의 농도, 온도 그리고 특성에 달려있고 흡수용액의 농도는 재생장치에 의해서 적당하게 유지된다.

공기로부터 수분이 흡수될때 수증기의 응축열과 사용되는 액체흡수제 농도 그리고 온도에 따라 혼합열이 발생하는데 흡수제 용액은 냉각탑수 또는 코일관 내부에서 흐르는 냉매에 의해 요구되는 온도로 냉각유지된다. 이때 냉각수량은 냉각수온도와 공기로부터 제거되는 총열량에 따라 달라진다.

액체흡수제는 공기로부터 흡수한 수증기를 액체 흡수제로부터 제거시켜서 적정한 농도로 유지시키는데 그 방법으로 통상 액체흡수제의 10 − 20 %되는 양을 증기 또는 다른 가열매체에 의해서 가열되도록 재생코일을 통과시킨다.

보통 사용되는 액체흡수제는 약 115 − 275 KPa, abs (2 − 25 Psig)의 증기에 의해 재생되는데, 약 115 KPa, abs (2 Psig) 증기에 상당하는 온도의 액체흡수제의 증기압은 외기의 증기압보다 상당히 높다. 이 공기와의 차압으로 용액에서 공기로 물이 방출되어 흡수제는 농축되게 된다.

재생기의 증기량은 순환하는 용액의 농도에 대응하는 수위조정, 비중조정 또는 비등점조정에 의해서 밸브로 조절한다.

액체흡수식제습기는 온습한 증기를 안락한 조건의 공기로 습도를 낮추기 위하여 높은 이슬점온도 강하가 요구될 때 가끔 사용되고 저압의 증기가 흡수제의 재생에 이용될 수 있으면 상당한 잇점이 있다.

3.4.2. 固體吸收式 除濕

내열성소재를 허니컴 형상으로 성형하여 원통형으로 만들어진 Rotor에 액체흡수제의 용액을 함침시켜 고형화시킨 것으로 이 Rotor 면적의 3／4부분에서 공기중의 수분이 흡수되고 나머지 1／4부분은 가열공기를 통과시켜 흡수한 수분을 빼앗아 외기로 방출시킨다. 흡습제가 고체상인 것과 회전에 의한 연속제습조작이 행하여지므로 건식회전형제습기로 이용되고 있으며, 흡습제로는 염화리치움(Licl)을 가장 많이 사용하고 있다. 재생가열원으로는 증기, 전기, 가스등이 이용되며 폐가스를 이용할 경우 상당한 열절약을 가져올 수 있다.

회전식 고체흡수식 제습기의 작동원리는 다음과 같으며, 주요부품은 그림 14에 나타나 있다.

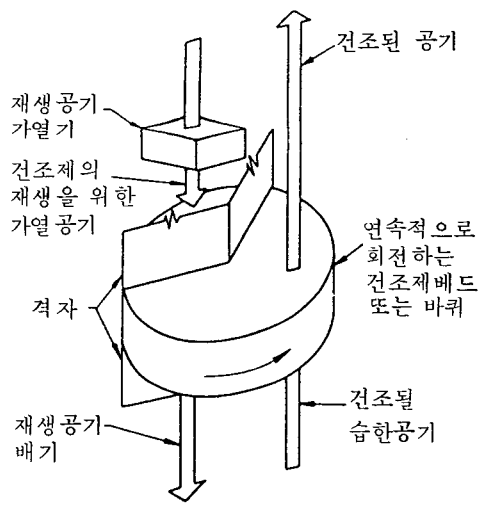


그림 14. 회전식 제습기

로타엘레멘트 내에서의 공기상태는 다음과 같이 변화한다고 생각되어진다.

즉 제습공정에 있어서는 공기(비교적 저온도로서 고습도)가 로타엘레멘트내의 염화리치움 결정체와 접촉할 때 엘레멘트는 공기에 의해 냉각되는 한편, 수증기 분압이 낮은 結晶 염화리치움은 공기중의 수분을 흡수한다.

따라서 공기는 감습됨과 동시에 로타엘레멘트의 열과 수분이 동시에 흡수열의 발생에 의해 온도가 상승한다. 또 재생행정에는 고온도로 가열한 공기를 로타엘레멘트내를 통과시킴

으로서 Asbestos엘레멘트의 벽면에 열에너지를 주므로서 염화리치움의 온도가 상승함에 따라 엘레멘트내의 수증기분압이 공기의 수증기 분압보다 높게 된다. 이 결과 염화리치움중의 수분이 공기중에 이동하여, 제습도중 수분을 흡수하여 일부분 용액이 된 염화리치움이 재결정 상태가 된다. 이와같이 로타엘레멘트 내에서의 공기의 상태변화는 물질이동과 열이동이 공기류의 방향과 회전방향에 동시에 진행하게 된다.

3.5. 吸着式 除濕法

고체의 흡착제를 사용하는 것으로, 흡착은 다공정 물질의 표면에 분자층의 형으로 다른 가스가 부착하는 것이며, 화학적 결합력에 관계없고, 또한 흡착제로 용해, 조해를 일으키지 않으므로 고형흡수제보다 우수하다. 일반적으로 활성알루미나(Al_2O_3) (activated alumina), 실리카겔(SiO_2) (silicagel) (硅酸膠化體), 활성보키사이드(주성분Al_2O_3)등이 주로 이용된다. 그림 15는 고체흡착식 제습기로서 습공기가 한쪽 제습탑을 통과하면서 제습되는 동안 다른 한쪽의 제습탑에서는 흡착제의 재생이 행하여 진다. 이 방식은 두탑에 의한 절환식이므로 제습조작이 단속적이며 사용에 따라 흡착제가 분말상태로 부서지므로 정기적인 흡착제의 교환이 필요하며, 흡착열제거를 위한 냉열원과 재생을 위한 가열원이 필요하다.

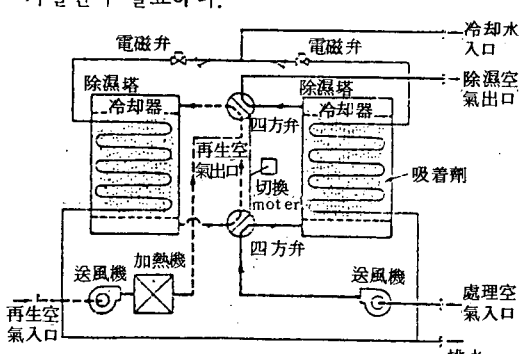


그림 15. 흡착식 제습기

실리라겔(silicagel), 활성알루미나(activated alumina) 또는 수분을 흡수하는 염분같은 고체건조제에 의한 제습은 정적 또는 동적상태하에서 수행될 수 있다.

정적인 상태는 건조제 주위에서 공기나 가스의 흐름이 없는 상태를 의미하는데 건조제 주위의 공기가 건조해지면 대류와 확산에 의해서 멀리 떨어져 있는 공기가 건조제에 도달하여 수분을 빼앗기게 된다. 이러한 형의 제습은 습기에 민감한 제품의 저장이나 수송에 사용되는 밀폐된 용기에서 주로 일어난다.

동적 제습에서는 공기나 가스가 건조제주위를 흘러가면서 제습이 되는데 송풍기 같은 공기운반장치와 건조제를 재생시키는 가열기가 동적제습에서는 필수 부품이 된다.

고체흡착제습기는 단층베드식, 이중베드식 그리고 회전베드식 흡착제습기로 구분이 가능한데 내용은 아래와 같다.

단층베드식은 한층의 고체건조제로 되어 있고, 건조제는 흡착과 재생(즉, 흡착제로부터 방수)을 반복적으로 해야 하기 때문에 건조한 공기의 송풍은 간헐적이 된다.

이중베드식은 두층의 고체건조제, 밸브시스템, 팬, 건조제 재생가열기로 되어 있는데 두 베드중 하나가 공기의 수분을 흡착할 동안 다른 하나는 건조제 재생가열기의 열에 의하여 재생된다. 보통 타이머에 의해서 조절되는 시간간격으로 밸브가 공기흐름의 방향을 변화시켜 건조제를 재생시키거나 습한 공기로부터 수분을 흡착한다.

회전베드식은 하나 또는 여럿의 고체입자건조제베드로 되어, 각 베드는 케이스내에서 회전을 하면서 섞이지 않게 분리되어 있는 제습시킬 공기와 건조제를 재생시키는 공기를 동시에 통과시켜 베드 일부분은 수분을 흡착, 나머지 부분을 건조제를 재생시키는 작용을 연속적으로 계속하게 한다.

4. 용도 및 응용

4.1. 대기압상태에서의 용도

1) 저장중인 재료의 보존

상업적으로 맥주발효, 육류저장, 페니실린 숭정뿐만 아니라 공장기계, 캔디, 식품, 모피 가구, 씨앗, 종이와 화학약품의 저장에 이용

2) 건조공정

- 수분을 흡수하는 재료의 수송
- 필름 건조
- 캔디, 쵸콜렛 그리고 츄잉껌 제조
- 약품, 화학제품 제조
- 겹판 유리제조
- 습기에 민감한 재료의 포장
- 모우터, 변압기의 조립
- 트랜지스터, 마이크로웨이브 부품 등의 전자제품의 제조

3) 응축방지

- 전자장비내에서 내부 응축의 방지
- 오일, 가솔린 탱크, 맥주발효탱크로 물방울이 떨어지는 것을 방지
- 미사일내의 전자부품실과 계기실내의 응축으로 인한 기능저하 방지

4) 공기조화 공간내에서 독립한 습도조건

현재설치된 공기조화 시스템보다 더 낮은 습도가 요구되는 곳에서 사용될 수 있다. (참조 ASHRAE Handbook, Chapter 8 of the 1976 Systems Volume)

5) 시험시에 응용

- 풍동(고공상태의 조건을 만들기 위할 때 응용)
- 분광기실
- 종이와 섬유시험
- 세균 및 식물 배양실
- 환경시험실 및 챔버

4.2. 고압상태에서의 용도

1) 재료의 보존

특히 불활성가스가 재료를 싸고 있는 경우와 導波管(Wave guide)와 레이다도움(radome)의 습기막 형성을 방지하는데 이용된다.

2) 공기 및 가스의 건조공정

- -40℃(-40°F)까지의 계기내 공기의 건조
- 공기에 의해서 작동하는 밸브, 기구, 장치(낮은 온도에 노출되어 있는)
- 천연가스의 건조(프로판, 병에담긴 산소, 질소, 수소, 아세틸렌)
- 액체 및 고체상태의 수분을 흡수하는 재료를 수송하기 위해 사용되는 공기 또는 불황성가스의 건조

3) 장치의 검사

- 냉동기 응축장치의 부품의 견고함과 습기의 침투를 방지하기 위해 시험할 때 사용되는 건조한 고압 공기를 만드는데 이용
- 구리관의 시험, 부식과 산화방지를 위한 코일의 시험에 필요한 불황성 가스의 제습에 이용
- 트랜지스터, 전자제품의 제조 및 조립실의 습기제거
- 풍동에서 항공기, 미사일부품의 검사를 위한 건조한 고공의 대기조건 시뮬레이션

4) 액체탄화수소계 화합물로부터 수분 제거

고체흡착제에 의해 벤젠, 톨루엔, 부탄, 프로판, R-11, R-12 및 염화메틸, 크실렌(zylene), 트리클로로에칠렌등의 건조

4.3. 응 용

그림 16은 액체흡수제가 사용되어 응용되고 있는 형태를 나타낸다.

- 중간 온도범위(A)는 건조된 공기의 건구온도가 25 ~ 45℃(77 ~ 113℉)수분함유량이 8.6 g/kg(60 gr/lb)건조공기 또는 그 이하로 정의됨.

이 범위내에서는 젤라틴 (gelatin) 및 아교건조기 (glue driers) 빵집의 트롤리실 (trolley rooms), 기초 비타민의 건조, 제약, 껌의 캔디코팅등 제조하는 동안 온도가 어떤 한계수준이상 상승하면 이 제품이 손상되거나 저장수명이 짧아지는 많은 제품의 취급에 응용된다.

• 공기조화범위 (B)는 건조된 공기의 출구 건구온도가 7 ~ 25 ℃ (44.6 ~ 77 °F) 수분함유량이 8.6 g / kg 건조공기 이하로 정의됨. 이것은 쾌적된 공정상의 공기조화의 기본범위이다.

• 냉동범위 (C)는 출구 건구온도 범위가 -20 ~ 7 ℃ (-4 ~ 44.6 °F)수분함유량은 장치에서 6.4 g / kg (45 gr / lb)이하로, 주로 맥주저장실, 맥주발효실, 육류저장, 페니실린공정, 설탕냉각 및 수송, 츄잉껌 제조등에 응용된다.

이 이하의 범위 -70 ~ 0 ℃ (-94~32 ° F) 는 풍동, 식물재배실, 연구실 및 캔다바의 터널냉각 등에 이용되는데 출구 공기의 이슬점 온도가 건구온도와 같거나 거의 비슷한 특성이 있다.

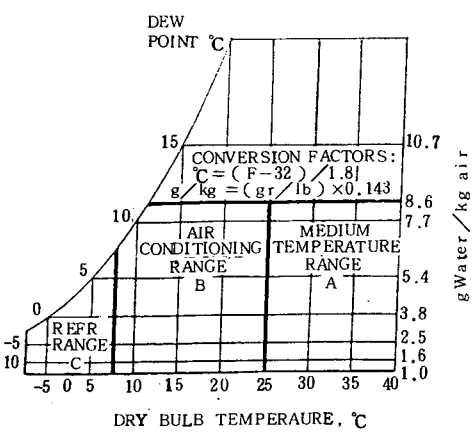


그림 16 . 액체흡수제를 이용한 응용범위

5 . 제약공장 저습도공조에의 응용

1) 제습의 목적

최근 동결건조의약품이 많이 보급되어 왔다. 이것은 동결건조법으로 물질중의 수분을 급속동결에 의해 미세한 氷의 結晶으로 바꾸고 더욱이 진공건조실에 넣어 昇華현상에 의해 제거하는 방법으로 건조정도가 좋고, 변질도 적기 때문이다.

동결건조약품 제조공장의 공조를 실예로 들면 약품제조공정중에서 製劑를 조그만 용기에 충전하여 동결 건조시키고, 용기에 뚜껑을 닫기 전까지 약품의 균에 의한 오염과 흡습을 막기 위해 작업실의 환경을 無菌, 低濕度의 상태로 유지할 필요가 있다.

2) 설계조건

바닥면적 : 350 ㎡

실 용 적 : 927 ㎥

실내온습도 : 온도 23 ± 1 ℃, 습도 25 % 이하

청 정 도 : class 10,000

환기회수 : 25 회 / 시간 (청정도로부터)

3) 제습방식의 선정

이 경우 풍량이나 노점온도의 점에서 냉각식, 흡수식 (습식, 건식) 의 3 방식이 고려될 수 있으나, 다음과 같은 이유로 냉각식을 선정했다. 또, 기종에는 除霜裝置가 달린 저습도용 에너지 절약형을 채용했다.

가. 본 경우와 같이 외기취입 비율이 높은 경우는 여름철 최고부하시처리공기입구온도는 높아지고, 乾式吸收式은 제습효율이 낮아지므로 예냉장치를 필요로 하며 가격은 비싸지게 된다.

나. 濕式吸收式은 소요처리 공기출구노점에서 냉각수는 냉동기에 의한 냉수를 필요로 하는 범위이며, 또한 보수상 용액관리가 필요하게 된다.

다、3방식을 운전비의 면에서 비교하여 보면 냉각식 보다도 습식·건식 흡수식이 모두 10－30％정도 높아진다.

4) 공기선도 및 장치의 계통 개요

여름상태의 공기선도를 그림 17에, 또 장치의 계통도를 그림 18에 나타내면 다음과 같다.

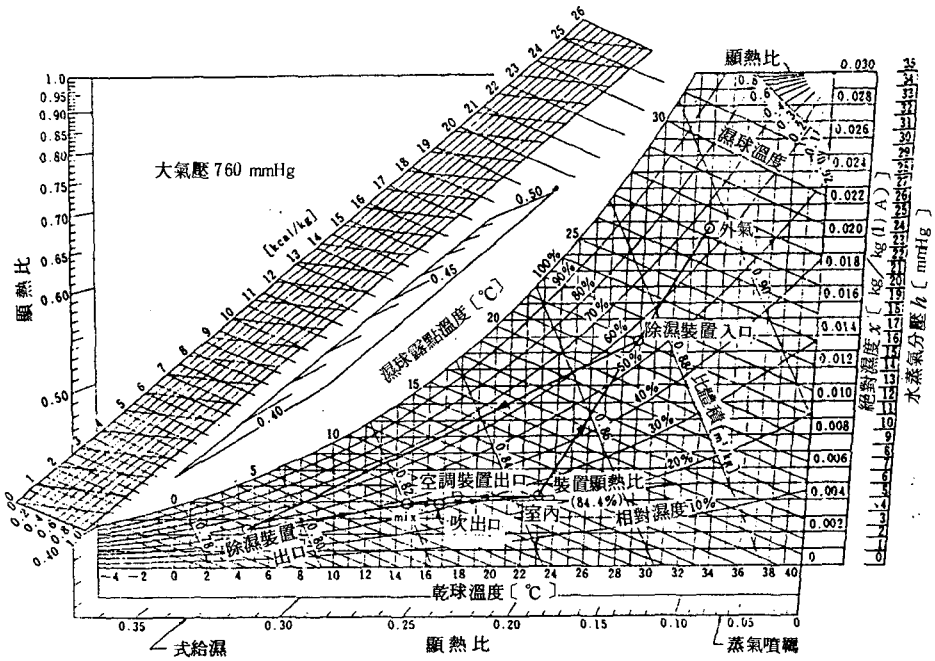


그림 17. 공기선도

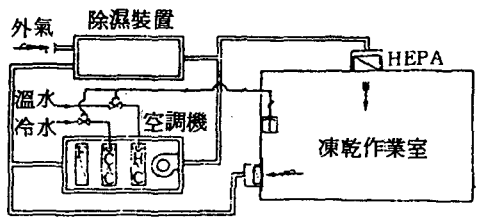


그림 18. 제약공장 저습도 공조장치 계통도

5) 운전결과

운전결과는 양호하며, 년간을 통해 실내를 저습도로 유지할 수 있었다. 또한, 除霜을 위한 냉각코일切換조작에 의한 실내온습도변경은 거의 없고, 보수면에서도 냉동기의 정기적인 분해·검사(over－haul)이외는 필요 없었다.

6. CAPSULE 제조실 멸균 제습공조용 KATHABAR

6.1. 장치목적

CAPSULE제조실의 멸균과 제습공조를 목적으로 한다.

6.2. 설계조건

1) 외기조건(여름) : 32 ℃ 65 %RH
0.0197 kg/kg
(겨울) : -5 ℃ 50 %RH
0.0012 kg/kg

2) 실내조건(년간) : 23 ℃ 43 %RH
0.0076 kg/kg

3) 실 용 적 : 18 m × 18 m ×
3 mH = 324 m² ×
3 mH = 972 m³

4) 실내부하(가정)(여름) :
현열부하 60,000 kcal/h
잠열부하 19,000 kcal/h
(겨울) : 현열부하 41,000 kcal/h
잠열부하 16,000 kcal/h

5) 외기취입량 : 30 m³/min

6) UTILITIES : 냉수 7 ℃
증기 2 kg/cm²G
전기 220 V/60 Hz/3 PH

6.3. 설비사양

1) KATHABAR - 1조
(형식) 500-18C(DM)-21CN-E-F
(내역)
- AIR CONTACTOR : 500-18 C(DM) - 1대
  처리풍량 : 142 m³/min
  기내저항 : 70 mmAq
- REGENERATOR : 21 CN - 1대
  처리풍량 : 34 m³/min
  기외정압 : 19 mmAq
  재생능력 : 95 kg/H
  FAN MOTOR : 1.5 KW-4 P
- PUMP AND PUMP TANK S형 - 1대
  PUMP MOTOR : 0.75 KW - 2 P
- ECONOMIZER PUMP TANK E형 - 1대
  PUMP MOTOR : 0.75 KW - 2 P
- FAN AND FAN BOX - 1대
  처리풍량 : 142 m³/min
  정 압 : 110 mmAq
  FAN MOTOR : 5.5 Kw - 4 P
- KATHABAR 부속품 - 1식
  KATHENE 용액
  KATHENE 배관
  액면제어용기기

2) 부속설비
- AIR HANDLING UNIT - 1대
  송풍기 : 300 m³/min, x 60 mmAq x 11 Kw
  냉각부하 : 47,520 kcal/h
- FILTER AND FILTER BOX
  AIR CONTACTOR 용 - 1대
  REGENERATOR 용 - 1대
  효율 AFI 80 %
- 동력조작반 - 1조
- 자동제어기기
  온도조절기 - 3대
  냉각제어밸브 - 2조
  증기제어밸브 - 1조
  제어용 공기원장치(Air Compressor 0.4 KW) - 1식
  온습도기록계 - 1대
  온도검출센서 - 1개
  습도검출센서 - 1개

6.4 . 계통도 (Flow Sheet)

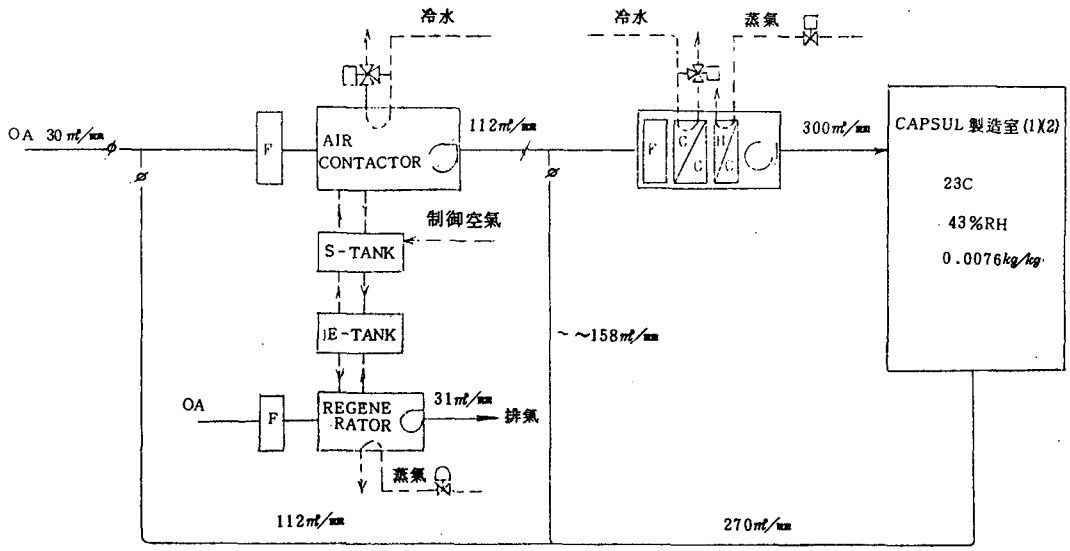


그림 19 . 계통도 (Flow Sheet)

6.5 . 설비개요

본 설비는 Capsule 제조실의 멸균과 제습공조를 목적으로 하며, Kathabar, Air Handing Unit, Water Chiling Unit, 냉각펌프 및 냉수탱크로 구성되어 있다.

온습도의 자동제어는 Return duct 내에 온도검출센서가 설치되어 있으며, 온도제어는 cooler 및 Heater 로, 습도제어는 Kathabar 로 제습함으로써 행하고 있다.

또한, Air Handling Unit 내에 Filter 를 설치하여 Gapsule 제조실내의 공기를 항상 청정하게 유지한다.

1) Kathabar 에 대하여

가. 장치개요

Kathabar 는 Kathene 이라하는 Licl를 주성분으로한 흡습액을 사용하여 공기중의 수분을 화학적으로 제습한다.

Kathene 용액을 저온에서 공기와 접촉시키면 공기중의 수분을 제습하고, 고온에서 공기와 접촉시키면 공기중에 수분을 방출하는 성질이 있다.

이 성질을 이용한 전자는 Air Contactor , 후자는 Regenerator 라 하며 각각 Pump 및 Pump Tank 와 조합된 장치로 구성된다.

나. 흡수탑 (Air Contactor)

Kathabar 의 Air Contactor 에 Air Contactor Coil 이 있으며, 이 코일상면에 Kathene 용액이 분무되어 공기가 이 용액과 접촉한다.

Kathene 용액은 공기와 접촉해가면서 Fin tube의 표면을 통하여 아래로 흘러떨어진다. 코일에는 냉수가 흐르고 있어 냉각되고 공기중의 수분을 Kathene 이 흡수한다.

다. 재생탑 (Regenerator)

Air Contactor 에서 Kathene 용액이 공기로부터 흡수한 수분을 방출하고 재생하는 부분이다.

Kathene 용액은 증기코일상면에 분무되고 증기코일로 가열되며 공기와 접촉하면서 Tube의 표면을 통하여 아래로 흘러떨어진다.

이때 공기중에 수분을 방출한다.

라. Kathene용액 Pump

Kathene용액 Pump는 Air Contactor에 이송 Spary Nozzle로부터 분무시키는 펌프와 Regenerator에 보내는 Economizer Pump가 있다. 이들 Nozzle에 보내는 Kathene용액의 유량은 Orifice Plate에 의해 조절된다.

설계 Spray 압력

Air Contactor 0.4-0.6 kg/㎠G

Regenerator 0.35-0.5 kg/㎠G

마. Kathene용액 액면제어

Kathene용액의 액면제어는 MLC-II에서 행하고 있다.

Air Contactor의 제습에 의해 액체의 수위가 상승하면 MLC-II의 2차 제어공기압이 상승하고, Regenerator용 증기유량 제어밸브가 열리며 Regenerator Coil에 증기가 흘러 재생을 개시한다.

재생에 의해 액체의 수위가 내려가면 MLC-II의 2차 제어공기압이 내려가서 Regenerator용 증기유량제어밸브가 닫혀 Regenerator Coil에의 증기가 멈추어 재생도 정지한다.

액체의 수위가 보다 내려갔을 경우 MLC-II용의 제어공기 전자변(SV1)가 끊어져 강제적으로 증기유량제어밸브를 완전히 닫는다.

강제적으로 증기유량제어변이 완전히 닫힘에 따라 재생이 정지하고, Kathene용액의 액면이 회복하면 다시 (SV1)에 전기가 통하여 제어공기가 MLC-II에 통해져 재생이 개시된다. 운전시 액체의 수위가 이상하게 높거나 또는 낮을때 경보로 알린다. 5본 용의 경우 운전액면이 기준레벨보다 20㎜이하 내려가면 전자변이 OFF되도록 설정한다.

하한 및 상한의 alarm은 현장에 따라 결정할 것. (그림 20을 참조)

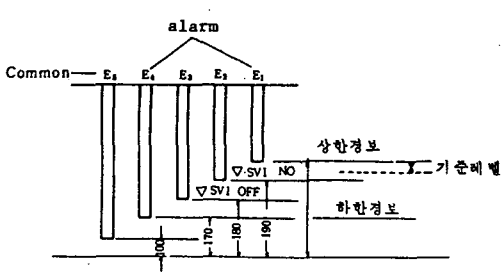


그림 20. Kathene용액 액면제어

2) Air Handling Unit에 대하여

Air Handling Unit는 Filter, Cooler Coil, Heater Coil, Fan 및 Casing으로 구성되어 있다.

3) 제조실내온습도 자동제어에 대하여

- 온도검출기 : Honneywell T991A
- 제조실내온도가 높을 경우, 온도검출기의 지령에 따라 냉수유량제어밸브가 열려 Cooler Coil에 냉수가 흐르게 되어 제조실내의 온도를 낮춘다.
- 제조실내온도가 낮을 경우, 증기유량제어밸브가 열려 Heater Coil에 증기가 흐르게 됨으로서 제조실내 온도를 올린다.
- Air Contactor에서 제습된 공기를 Air Handling Unit에서의 순환공기중에 혼합함으로써 낮은 습도를 유지하고 있다.

실내습도부하가 클 경우, Air Contactor에서 제습을 많이 해야 할 필요가 있기때문에 Air Contactor 출구온도 설정(T1)을 보다 낮게 또는 실내습도부하가 적은 경우, Air Contactor에서의 제습이 적어도 좋으므로 Air Contactor 출구 온도설정(T1)을 보다 높게 설정해 놓는다.

참 고 문 헌

1) 일본 공기조화, 위생공학회편, 공기조화 설비의 실무지식, 1971년판, ohm사

2) 일본화학회편, 화학공학편람, 1968년판

3) 일본냉동협회편, 냉동공조편람(응용편) 1981년판, p. 346.

4) 금속방식기술, 1972년판, p.212.

5) 일본화학회편, 화학공학편람, 1962년판, p. 625.
6) 일본공기조화, 위생공학회편, 공기조화·위생공학편람, 개정 제9판, 1976.9, p. II-438
7) 공기조화·위생공학회편, 학회지 Vol. 57, No. 7, 1983. p. 55
8) 공기조화·위생공학회편, 학회지 Vol. 57, No. 8, 1983. p. 77
9) ASHRAE HANDBOOK & PRODUCT DIRECTORY-EQUIPMENT VOLUME, Chapter 7, "Sorption Dehumidification and Pressure Drying Equipment"
10) 일본공기조화·위생공학회편, 공기조화·위생공학편람 제10판, 1981.4
11) 鈴木謙一郎·大矢信男, "제습의 실용설계" 共立出版(株), 1980. 6.
12) 서석청, 김송학, "용해로의 탈습송풍장치활용에 관한 조사연구" 한국기계연구소 연구보고서, BSIC 76-242. C, 1982.12.
13) Recknagel-Sprenger, "Taschenubuch für Heizung und Klimatechnik", Oldenbourg 79/80
14) 收野彰一. 今井與藏. 植村朝一 "공기조화·위생설비의 기초" 彰國社刊 1980
15) "Kathabar" Catalogue. ELK-105H, Chugai Ro Kogyo Co., Ltd. 1979.