

解 說

# 吸 收 式 冷 凍 機 에 對 하 여

박 대 휘\* 노 창 균\*

## The Theory and Application of Adsorption Refrigerator

Dae Hui Park\*, Chang Kyun Ro\*

### 5. 2 중효용 흡수 사이클의 원리

#### 5-1 고온 재생기 및 저온 재생기

2중효용식은 1중효용식에 재생기를 하나 더 추가한 것으로서(저온 재생기와 고온 재생기라고 부른다), 고온 재생기에서 용액을 가열·응축할 때 발생하는 냉매 증기를 저온 재생기의 용액 가열에 이용하므로 응축기를 통하여 외부로 버리는 열량을 그만큼 유효하게 활용하게 된다. 따라서 1중효용식에 비하여 성에너지화를 도모할 수 있으며, 응축기에서는 저온 재생기에서 발생된 냉매 증기와 저온 재생기 전열관 내부에서 응축된 냉매액을 응축·냉각시킨다. 저온 재생기와 고온 재생기의 열효율을 각각  $\eta_1, \eta_2$  라 하면 동일한 가열량 "A"로서 발생시킬 수 있는 냉매액은 다음과 같다(그림 11 과 12 참조)

1중효용식 :  $A \times \eta_1$

2중효용식 :  $(A \times \eta_1) + (A \times \eta_1 \times \eta_2) = (A \times \eta_1) \times (1 + \eta_2)$

이곳에서  $\eta_1, \eta_2$  을 65%로 가정하면

1중효용식 :  $0.65A$

2중효용식 :  $0.65(1 + 0.65) \times A = 1.07A$

\* 정회원, 경원기계공업 주식회사

로 되며 2중효용식은 1중효용식에 비하여 동일한 가열량으로서  $\frac{3}{2}$ 배의 냉매액을 발생시킬 수 있다. 즉, 동일한 냉매액을 발생시키기 위해서

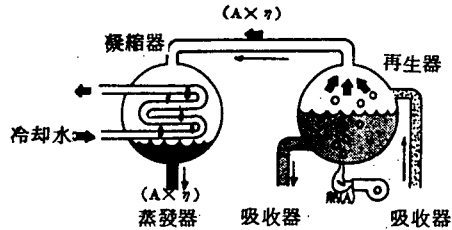


그림 11. 1 중 효용식)

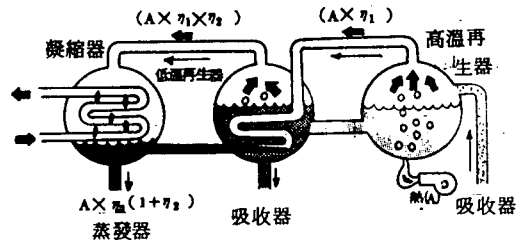


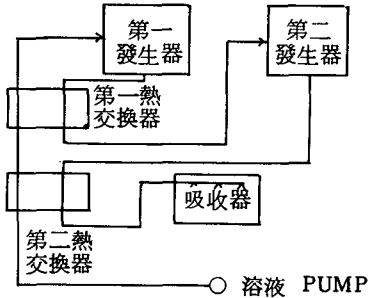
그림 12. 2 중 효용식

는  $\frac{2}{3}$ 의 가열량으로 충분하므로 그만큼 에너지를 절약할 수 있다. 일반적으로 2중효용식 흡수 냉동기는 1중효용식과 같이 단동형과 복동형으로 분류할 수 있으며 또한, 흡수액의 흐름

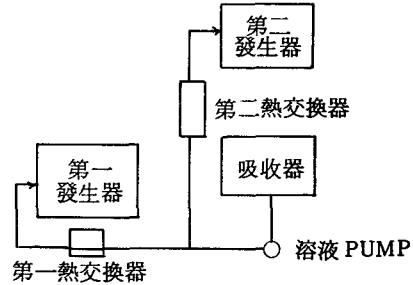
에 따라 병렬 순환 방식(parallel flow)과 직렬 순환 방식(series flow)으로 분류할 수 있다. 순환 방식별 흡수액의 흐름을 도표로 표시하면 그림 13과 같으며 그림 14는 단동형 병렬 순환 방식을 나타낸 단면 계통도이다.

5-2 2중효용식의 듀링 선도(Düring Diagram)

병렬 순환 방식의 각 과정을 듀링 선도상에 표시하면 그림 15와 같으며 그림 16은 직렬 순환 방식의 개략적인 듀링 선도를 나타낸다.



(1) 直列溶液循環型



(2) 並列溶液循環型

그림 13. 용액 순환 방식

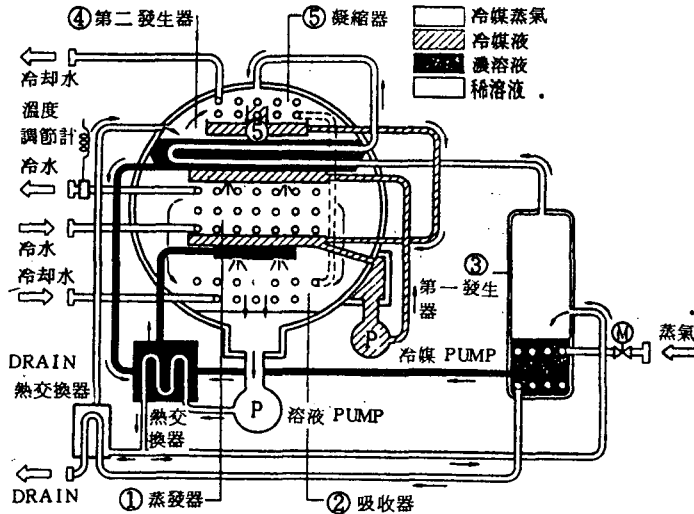


그림 14. 단동형 병렬 순환방식 단면 계통도

(1) a → b : 흡수기에서 진한 용액(약 62%)이 냉매 증기를 흡수하여 그 농도가 약 58%로 묽어지며, 냉각수에 의해 약 35 ~ 40°C로 유지된다.  
 (2) b → c : 묽은 용액이 저온열교환기에서 진한 용액과 열교환하여 약 70 ~ 80°C로 가열된다.

(3) c → d : 저온 열교환기를 통과한 묽은 용액(약 70 ~ 80°C)이 다시, 고온 열교환기에 의해 그 온도가 약 120 ~ 130°C로 가열된다.  
 (4) c → d' : 저온 열교환기에 의해 가열된 묽은 용액의 일부가 저온 재생기에서 약 61%의 진

한 용액으로 농축되며 냉매 증기를 발생한다.

(5) d → e : 저온 및 고온 열교환기에 의해 가열된 묽은 용액이 고온 재생기에서 약 63%의 농도로 농축된다.

(6) e → f : 고온 재생기에서 농축된 진한 용액(약 63%)이 고온 열교환기를 통과하면서 냉각된다.

(7) d' → g → f : 고온 열교환기를 통과한 진한 용액(약 63%)과 저온 재생기에서 농축된 용액(약 61%)이 열교환기 내에서 섞여 중간농도(약 62%)로 된다.

(8) g → h : 약 62%의 중간 농도의 용액이 저온 열교환기를 통과하면서 약 45°C ~ 50°C까지 냉각되어 흡수기로 들어간다.

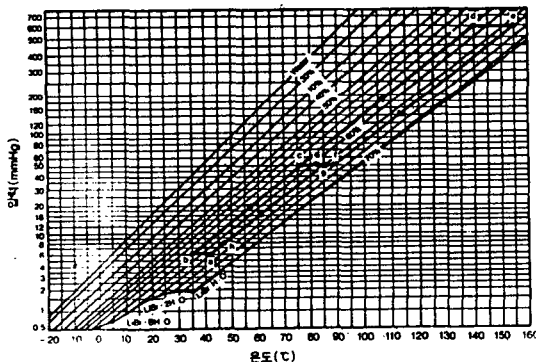


그림 15. 2중효용식 Dühring 선도 (병렬순환방식)

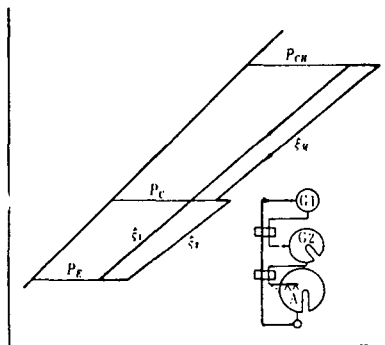


그림 16. 2중효용식 Dühring 선도 (직렬순환방식)

(9) z → a : 흡수기에서 산포(spray)된 진한 용액이 냉각수에 의해 냉각되며 a점부터 사이클이 반복된다.

### 6. 흡수식 히트 펌프

주로 공업용 폐열 회수용으로 이용되는 흡수식 히트 펌프는 일반적으로 제 1종 및 제 2종으로 분류된다.

#### 6-1 제 1종 흡수식 히트 펌프의 원리

흡수식 냉동기와 같이 고온수 혹은 증기, 고온의 폐열등을 재생기에 가하여, 이용 곤란한 저온의 열을 증발기에서 흡수하여 응축기 및 흡수기에서의 방열작용을 통해 온수를 만든다. 제 1종 흡수식 히트 펌프의 계통도 및 듀링 선도를 그림 17, 18에 나타낸다.

\* Energy Balance

$$Q_G + Q_E + W = Q_A + Q_C$$

\* 성적 계수(COP)

$$COP = \frac{Q_A + Q_C}{Q_G} = \frac{Q_G + Q_E}{Q_G} = 1 + \frac{Q_E}{Q_G} > 1$$

일반적으로 COP는 약 1.67 정도이다.

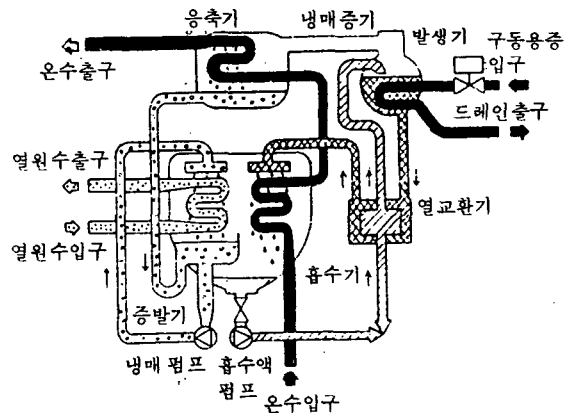


그림 17. 제 1종 흡수식 히트 펌프 계통도

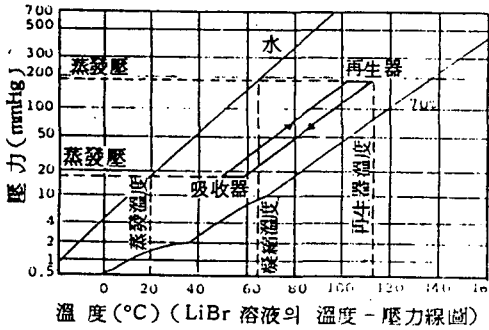


그림 18. 제 1종 흡수식 히트 펌프 Dühring 선도에

여기서

- $Q_G$  : 재생기 입열량
- $Q_E$  : 증발기 입열량
- $W$  : 펌프 일량
- $Q_A$  : 흡수기 출열량
- $Q_C$  : 응축기 출열량

6-2 제 2종 흡수식 히트 펌프의 원리

열원인 폐온수 또는 폐증기의 열을 증발기에서 빼앗아 냉매가 증발되며 흡수 용액에 의해 흡수된다. 이용되는 온수는 이러한 흡수과정을 통하여 흡수기에서 만들어진다. 흡수기에서 희석된 묽은 용액은 재생기 Tube 내부를 통과하는 폐온수(폐증기)에 의해 가열 농축되고, 열교환기에서 묽은 용액과 열교환후 흡수기로 돌아간다. 또한 재생기에서 재생된 냉매 증기는 응축기에서 냉각수에 의해 냉각·액화된 후 냉매 펌프에 의해 증발기로 운반된다. 이와같은 과정을 통하여, 재생기와 증발기에 들어온 폐열과 응축기를 통과하는 냉각수와 열차이를 이용, 흡수기에서 폐온수(폐증기)보다 고온의 온수를 얻을 수 있다.

그림 19, 20에 제 2종 흡수식 히트 펌프의 계통도 및 듀링 선도를 나타낸다.

\* Energy Balance

$$Q_G + Q_E = Q_A + Q_C$$

$$Q_A = Q_G + Q_E - Q_C$$

\* 성적계수(COP)

$$COP = \frac{Q_A}{Q_G + Q_E} = \frac{Q_G + Q_E - Q_C}{Q_G + Q_E} = 1 -$$

$$\frac{Q_C}{Q_G + Q_E} < 1$$

일반적으로 COP는 약 0.5 정도이지만, 구동열로서 폐온수 또는 폐증기가 사용되므로 그 유용성은 상당히 크다.

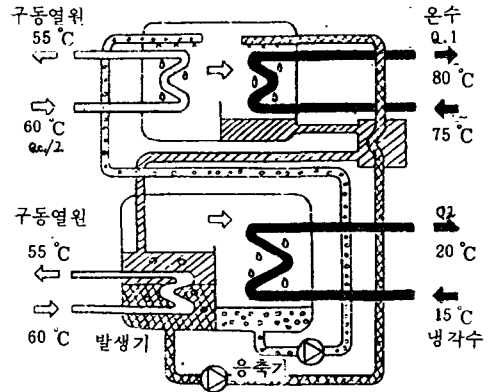


그림 19. 제 2종 흡수식 히트 펌프 계통도

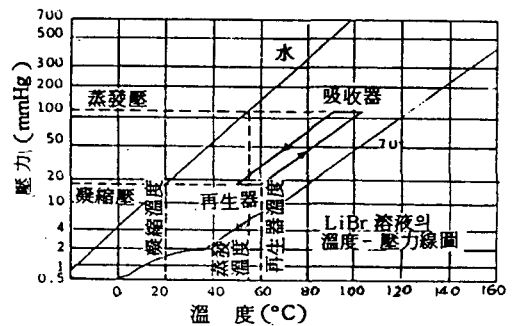


그림 20. 제 2종 흡수식 히트 펌프 Dühring 선도에

7. 흡수식 냉동기의 특성

흡수식 냉동기는 냉수·냉각수의 출구온도, 가열원 온도에 따라 그 성능이 변화하며 또한 전열면의 오염 정도, 용액(흡수액)의 순환량, 내부 흡수축 가스등에 따라 큰 영향을 받는다. 이와 같이 흡수식 냉동기는 압축식 냉동기보다 그 성능에 영향을 미치는 인자가 많으므로 사용상 세심한 주의가 필요하다.

7-1 냉수 출구 온도와 냉동 용량

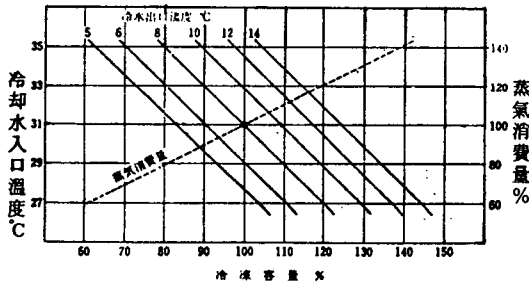


그림 21. 냉수 출구 온도, 냉각수 입구 온도와 냉동 용량과의 관계

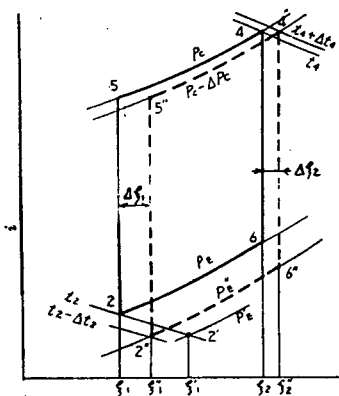


그림 22. 냉수 출구 온도에 의한 사이클 변화

그림 21은 증기압, 냉수량, 냉각수량, 용액 순환량을 일정하게한 경우의 냉수 출구 온도와 냉각수 입구 온도에 따른 용량 변화를 나타낸 것

으로서 냉각수 입구 온도가 일정할 때 냉수 출구 온도가 내려가면 냉동용량도 감소한다. 그림 22는 냉수 출구 온도 저하에 따른 사이클 변화를 엔탈피-농도 선도로 표시한 것으로서 그 사이클은 2-5-4-6-2로 부터 2'-5'-4'-6'-2'로 변화한다.

7-2 냉각수 입구온도와 냉동 용량

그림 21과 같이 냉수 출구 온도가 일정한 경우 냉각수 입구온도가 내려가면 냉동용량은 증대된다. 그림 23은 냉각수 입구온도 저하에 의한 사이클 변화를 나타낸다. 여기서

사이클 2-5-4-6-2 : 변화전의 사이클

사이클 2'-5'-4'-6'-2' : 냉동용량의 증대에 따른 출구 온도차, 입구 온도차를 고려하지 않았을 경우의 사이클

사이클 2"-5"-4"-6"-2" : 변화후의 실제 사이클을 나타낸다.

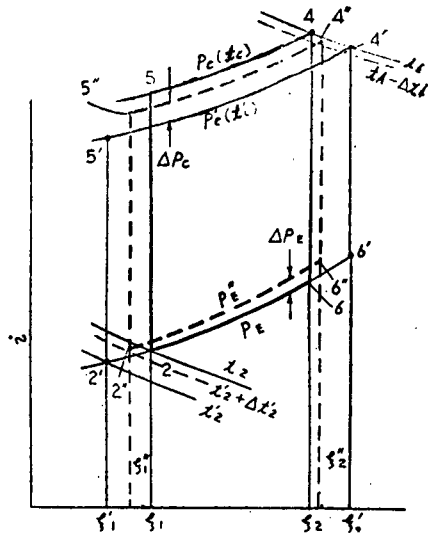


그림 23. 냉각수 입구온도 변화에 의한 사이클 변화

7-3 냉각수 및 냉수량과 냉동용량

그림 24는 냉각수량과 냉동용량의 관계를 나타낸 것으로서 냉각수량의 감소에 따라 냉동용

량도 감소한다. 냉각수량의 증감에 따른 사이클의 변화는 냉각수 입구온도 변화에 따른 사이클의 변화와 동일한 형태이다. 그러나 냉수출구 온도가 일정할 경우 냉수량의 변화는 냉동능력에 큰 영향을 미치지 않는다.

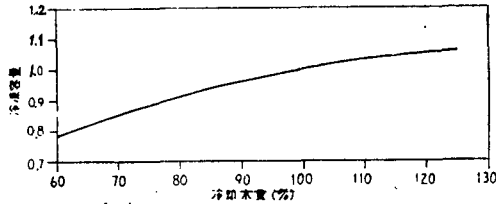


그림 24. 냉각수량과 냉동용량의 관계

7-4 가열 증기압과 냉동용량

일반적으로 가열 증기압이 저하하면 재생기의 농도가 묽게 되고 냉동용량도 감소한다. 증기압의 변화에 따른 사이클의 변화를 그림 25에 나타낸다. 여기에서 증기압이 저하하면 진한 용액의 농도는 4 → 4'로 변화하며 또한 냉동용량 감소에 의해 압력 및 온도는  $\Delta P_c$ ,  $\Delta P_B$ ,  $\Delta t_2$  만큼 변화한다.

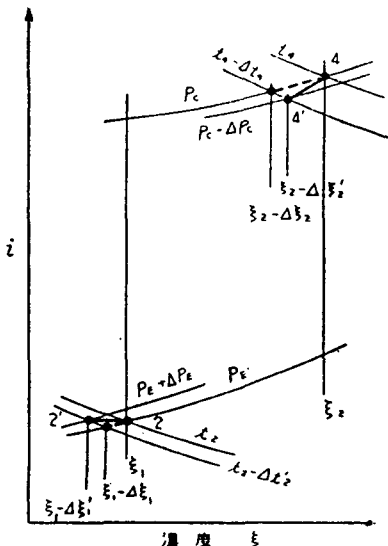


그림 25. 증기압 변화에 의한 사이클 변화

7-5 용액 순환량과 냉동용량

그림 26은 용액 순환량의 감소에 따른 냉동용량의 변화를 나타낸 것으로서 용액 순환량에 비례하여 냉동 용량이 변화함을 알 수 있다.

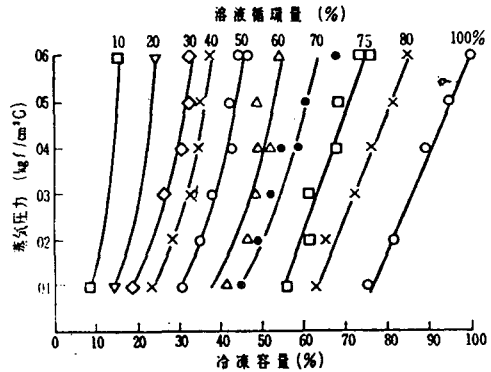


그림 26. 용액 순환량을 변수로한 증기 압력과 냉동 용량과의 관계

7-6 오염계수와 냉동용량

일반적으로 증발기, 응축기 및 흡수기의 오염계수는  $0.0001 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ \text{C} / \text{kcal}$  이지만 그 이상의 경우에는 냉동용량이 감소하므로 오염계수를 고려한 정확한 열통과율을 적용하여 사이클을 검토하여야 한다.

다음 표는 오염계수의 변화에 따른 냉동용량 감소의 일례를 나타낸다 (표 1 참조)

표 1. 오염계수 의 변화에 따른 냉동용량의 감소

오염계수	용 량 (%)		
	오 염 계 수		
냉 수	0.0001	0.0002	0.0004
냉 각 수 측	100	89	74
냉 수 측	100	92	-

7-7 불응축 가스의 영향

LiBr 흡수식 냉동기는 고진공하에서 동작하므로 공기누설, 부식억제제로 인해 발생하는 수소 등의 불응축 가스가 축적되면 성능에 큰 영향을 받는다. 그림 27은 질소를 불응축 가스로 한 시

힘치로서 질소농도는 증량농도를 나타낸다.

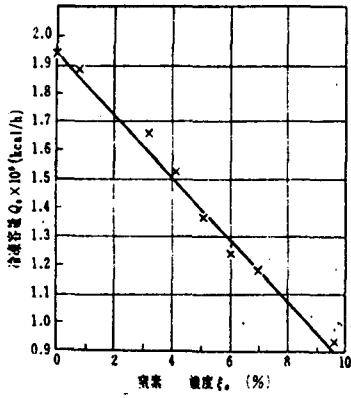


그림 27. 흡수기·증발기 SHELL 중의 질소 GAS 농도와 냉동 용량의 관계