

MVR시스템에 의한 증발장치의 폐열회수기술

Waste Heat Recovery in Evaporation Plants by MVR System

이 영 수*, 박 준 택*
Y. S. Lee, J. T. Park

1. 머리말

증발장치(Evaporator)는 각종 공업의 생산 프로세스에 필요불가결한 장치의 하나로써, 그 용도는 제품으로서의 용액농도의 확보, 다음 공정의 전처리(건조, 연소 등), 분리(탈가스, 탈취, 증류 등), 수송을 위한 용량감소 등 여러가지이다.

특히, 식품공업에 있어서의 증발장치는 주로 표 1 에서와 같은 제품의 농축에 사용되고

표 1 식품공업에 있어서 증발장치의 실시예

자연식품	우유, 쥬스, 커피추출액, 요구르트, 맥아즙, 육즙 등
식품	당액(포도당, 물엿, 이성화당, Fine Liquor) CSL (Corn Step Liquor), 효모, 젤라틴, 발효모액, 조미료, 아미노산 등
의약품	효소, 약초추출액, 비타민 등
폐액	알콜폐액, 발효액 폐액 등
기타	제당, 제염, 염화칼슘 등

있으며, 수분을 증발시켜야 한다는 기능상 막대한 가열에너지가 소비되기 때문에 종래부터 에너지 효율화가 중요한 과제로 추진되어 왔다.

본고에서는 증발장치의 에너지 효율화의 경

과와 함께 에너지 효율이 가장 좋은 증기재압축식 증발장치(Mechanical Vapor Recompression Evaporator ; MVR Evaporator)의 원리, 구성 및 특징, 응용에 등에 대하여 소개한다.

2. 증발장치의 에너지 효율화

2.1 에너지 손실요인

그림 1 은 단중효용증발관(Single-Effect Evaporator)의 열 및 물질수지를 나타낸 것이다. 에너지 손실원을 보면, 증발증기의 보유열, 응축수의 현열, 농축액의 현열, 방열손실 등이며, 이 중에서 주된 에너지 손실원은 증발증기의 보유열이다. 즉 가열에 사용되는 증기에너지의 거의 대부분이 수분증발을 위해

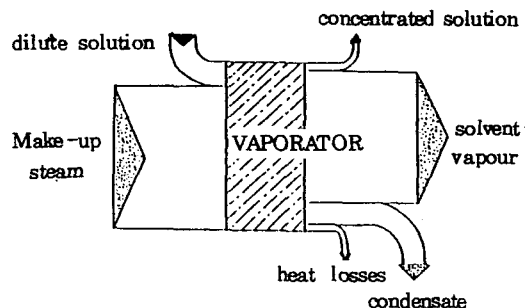


그림 1 단중효용증발관의 열 및 물질수지

* 정희원, 한국동력자원연구소

소비되고 있음을 알 수가 있다.

2.2 에너지 효율화의 경과

증발장치의 에너지 효율화는 전술한 바와 같이 주된 에너지 손실원이 증발증기의 보유 열이기 때문에, 이를 어떻게 유효 이용하는 가 하는 방향으로 검토되어 왔다. 그 방법으로서는 통상 증발장치의 다중효용화나 증기 이젝터(Steam Ejector)를 채용하는 것이었다.

다중효용법(Multiplication of Effects)은 그림 2에서 보는 바와 같이 여러개의 증발관을 직렬로 연결하여 앞의 증발관에서 발생한 증기를 순차적으로 다음관의 가열에 재이용하는 방법이며, 이 원리를 이용한 것이 다중효용증발관(Multiple-Effect Evaporator)이다.

증기 이젝터에 의한 방법은 이젝터에 의해 고압의 구동증기를 사용하여 증발관에서 발생한 저압의 일부 증발증기를 흡입, 승압하여 증발관의 가열에 재사용하는 방법이며(그림 3 참조), 이 원리를 응용한 것이 열압축식 증발장치(Thermo-Compression Evaporator)이다.

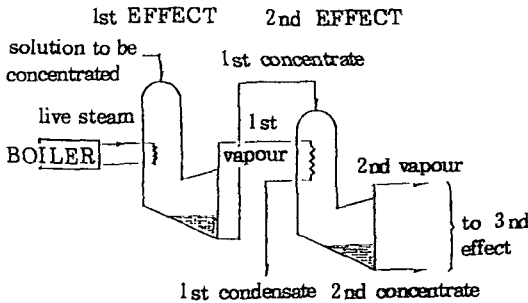


그림 2 다중효용의 원리

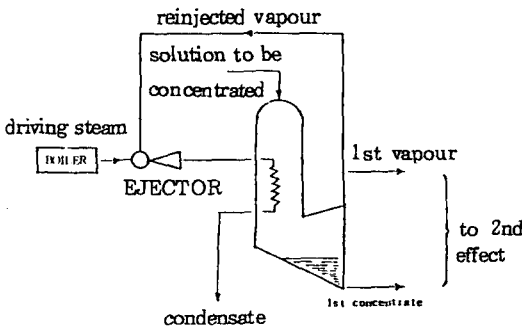


그림 3 이젝터에 의한 증기압축의 원리

그러나 이들의 방법으로서의 증기소비량의 절감에 한계가 있다. 즉 어느 경우에도 가열 증기를 필요로 하며, 또한 최종관에서 나온 증발증기는 응축기에서 냉각시켜 계외로 버리게 된다. 이들에 대하여 최근에는 증발증기의 폐열을 거의 전량 회수하는 동시에 주된 에너지를 전적으로 전환하여 보일러의 증기를 거의 사용하지 않는 MVR Evaporator가 일부 사용되고 있다.

3. MVR Evaporator의 원리

3.1 MVR시스템의 개념

MVR 시스템의 개념도를 그림 4에 보인다. MVR 방식은 증발관에서 발생한 저온의 증발 증기를 전량 기계식 압축기로 압축, 온도 및 압력을 올려 증발관의 가열열원으로 재사용하는 방식이다.

MVR 방식이 통상의 증발방식(단효용, 다중효용, 열압축식 등)과 다른 점은 생증기에 상당하는 증발잠열을 냉각수로 응축시켜 버리지 않고 전량회수 이용하는 것이다. 이 때문에 이 싸이클에 필요한 보충열량은 가열측과 증발측과의 온도차분만 증기의 포화온도를 올리는 데 필요한 에너지로 되므로 장치의 에너지 비용을 대폭적으로 절감시킬 수 있다.(표 2 참조)

3.2 MVR Evaporator의 작동원리

가. 작동원리

MVR 시스템에 있어서 최종관에서의 발생 증기를 자기의 열원으로 재사용하기 위해서는 가열관에서의 열교환을 행하기 위한 온도차 ΔT 가 필요하다.

$$\text{즉, } \Delta T = T_4 - T_1$$

여기서, T_4 : 증발관에서 발생한 압력 P_2 의 포화증기 온도

T_1 : 가열관에 사용하는 압력 P_1 의 포화증기 온도

이 ΔT 를 얻기 위해서는 압력 P_1 (ata)의 발생증기를 압축기에 의해 T_4 의 포화증기압력 P_2 (ata)까지 승압할 필요가 있으며, 이를 그림 5의 Mollier 선도를 이용하여 설명 한다.

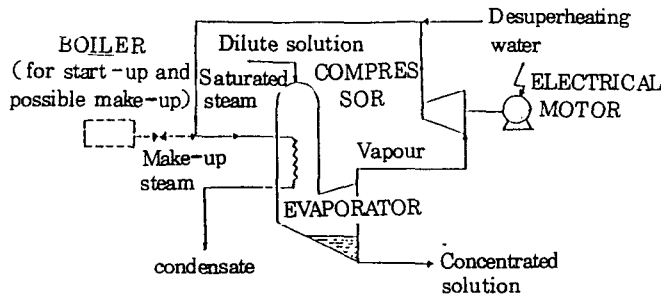


그림 4 MVR 시스템의 개념

표 1. 증발방식별 에너지 소요량 비교

증 발 형 식	증발수분 Ton 당 에너지소비량		
	증기 소비량 (kg-Steam)	전력 소비량 (kwh)	총에너지소비량 (MJ)
단효용식	1, 200- 1, 300	13	3, 050- 3, 300
2중효용식	630- 670	10	1, 610- 1, 710
3중효용식	400- 450	5- 7	1, 020- 1, 150
4중효용식	300- 320	5- 7	770- 820
단중효용열압축식	450- 550	5- 7	1, 140- 1, 400
2중효용열압축식	320- 400	5- 7	820- 1, 020
3중효용열압축식	175- 300	5- 7	450- 770
4중효용열압축식	150- 230	5- 7	390- 600
단중효용MVR 식(모타구동)	5- 20	25- 45	100- 210
2중효용MVR 식(모타구동)	5- 20	20- 40	85- 190
3중효용MVR 식(모타구동)	5- 20	20- 40	85- 190
4중효용MVR 식(터빈구동)	20- 40	3- 5	60- 120

※ 1 kg Steam = 2.5 MJ, 1 kWh = 3.6 MJ

증발관에서 발생한 증기는 포화증기선상의 1 (P_1, T_1, H_1)의 상태로 된다. 이 상태의 증기를 포화증기선상의 T_4 의 온도로 하기 위하여 압축기로 P_2 까지 단열압축하면 이론적으로 2 (P_2, T_2, H_2)의 상태로 된다.

3의 증기는 과열증기상태이므로 Desuperheater로서 감온시켜 4의 포화증기상태로 가열관에 도입시킨다. 이때의 응축잠열을 증발축의 액체에 전달하고서 1의 상태의 증기를 발생시키며 이 조작을 반복하여 용액의 농축을 계속한다.

한편 압축기의 단열압축효율(η)은 다음과 같이 표시된다.

$$\eta = \frac{H_2 - H_1}{H_3 - H_1}$$

여기서, $H_2 - H_1$: Ideal adiabatic compression work

$H_3 - H_1$: Actual adiabatic compression work

η 는 압축기의 형식과 부하에 따라 다르지만 일반적으로 50-80%이며, 이 압축효율이 높을수록 압축기의 축동력이 적게된다.

이상과 같이 압축기에 의해 $\Delta H = H_3 - H_1$ 의 엔탈피차가 주어지는 것에 의해 가열관에서 ΔT 의 온도차를 갖는 엔탈피 H_3 의 가열 증기를 얻을 수 있으며, 압축기를 구동하는

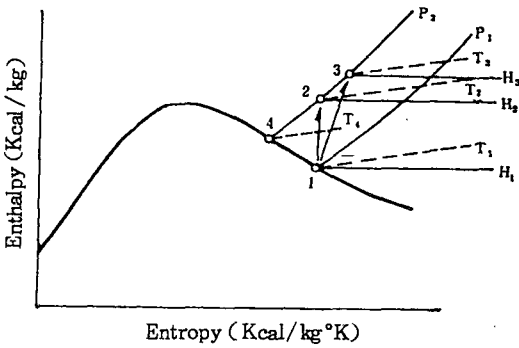


그림 5 수증기의 Mollier 선도

전력에 의한 증기의 엔탈피를 증가시키기 때문에 이론적으로는 외부로부터의 가열 증기는 전혀 필요로 하지 않으나 실제적으로는 시동시 승온용, 과열증기용 및 압축기의 축수용으로 약간의 증기가 필요하다.

나. 에너지 효율

MVR Evaporator 에 있어서 증발에 필요한 에너지는 가열용 증기가 거의 불필요하므로 압축기의 동력만으로 된다. 통상 MVR 의 에너지 효율을 나타내는 데에는 성적계수 (Coefficient of Performance : COP)가 사용되며, 이는 다음과 같이 정의되고 있다.

$$\text{MVR Evaporator의 COP} = \frac{W \times r}{L \times 860}$$

여기서, W : 증발장치의 전증발량(kg/h)
 r : 평균 증발잠열 또는 기준 온도에서의

증발잠열(kcal / kg)

L : 압축기의 축동력(kw)

그림 7에서 보는 바와 같이 MVR Evaporator 의 압축기 소요동력은 대략 20-40kwh / t (증발량)이므로 cop 를 계산하면 다음과 같이 된다. 여기서 기준온도를 100 °C 로 하면 $r = 539.1 \text{ kcal/kg}$ 이므로 MVR Evaporator 의 개략 COP

$$\begin{aligned} &= 1.000 \text{ kg} \times 539.1 \text{ kcal/kg} \\ &= (20 - 40) \text{ kwh} \times 860 \text{ kcal/kwh} \\ &= 31.3 - 15.7 \end{aligned}$$

이와같이 MVR 시스템은 통상의 증발시스템에 비해 에너지 효율이 좋을 뿐만 아니라 배증기를 응축시키기 위한 냉각수가 불필요하다는 장점도 가지고 있다.

3.3 다중효용 MVR Evaporator

MVR Evaporator 는 통상의 다중효용 증발장치와 마찬가지로 다중효용화하는 것이 가능하다. 다중효용화하면, 재압축해야 하는 증기량이 효율수에 반비례하여 감소하며, 증기 압축기를 소형화 할 수 있는 동시에 동력도 감소시킬 수 있다.(그림 6. 7 참조)

그러나 각종 제약조건에 의해 증기압축기의 압축비에 한계가 있어 흡입측과 토출측의 포화온도차를 무한정 크게 하는 것이 불가능하며, 10 °C- 20 °C 정도가 일반적이다. 또한

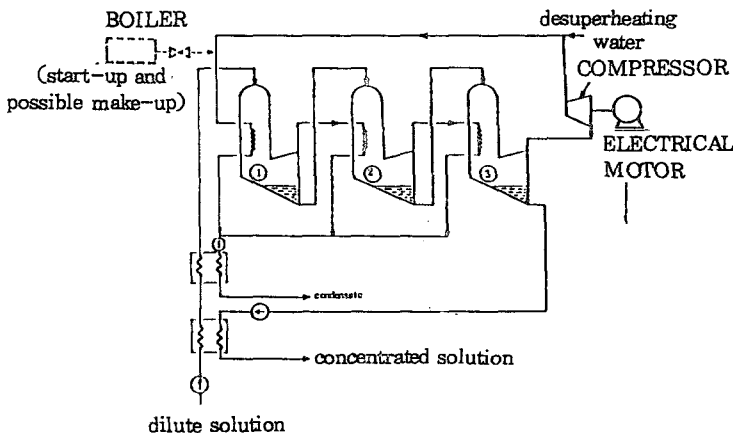


그림 6 다중효용 MVR Evaporator

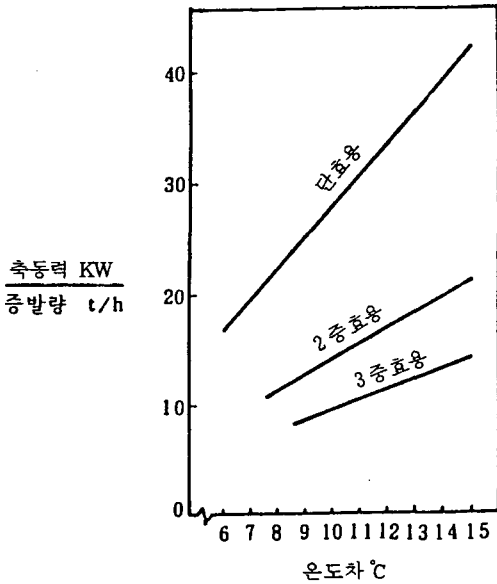


그림 7 증기압축기에 필요한 동력

액의 비점상승을 무시할 수 있는 경우, 다중 효율화하면 각관의 열부하는 효율수에 반비례하여 감소한다. 만일 전열계수가 동일하다면 전체 전열면적은 효율수에 비례하여 증가한다.

그러나 대부분의 액은 비점상승이 있고 각 증발관 관내액의 비점상승분의 온도를 고려하지 않고 다중화하면 유효 온도차가 감소하고 전열면적이 더욱 증가하게 된다. 따라서 처리액의 물성에 따라 최적 효율수를 선정한다.

한편, 가열관내 액의 Pass 방식은 액의 상태나 액량 등에 따라 표 3 과 같이 선정하며, 액의 농축에 있어 가열시간이 짧다는 것은 액의 품질을 유지하는데 중요한 의미를 갖는다.

4. MVR Evaporator의 구성 및 특징

4.1 구성요소

MVR Evaporator 는 그림 8의 Flow-Sheet 에서 나타낸 바와 같이 증발관과 증기압축기로 조합되어 있으며, 기타 기기류로서는 열회수용의 열교환기, 예열기, Vent Condensor 및 각종 펌프 등으로 구성되어 있다. 여기서 Super-heater 는 압축기의 흡입 증기중에 액입자가 있을 경우 부식의 우려가 있으므로 이를 방지하기 위해 약 3°C 정도

표 3 가열관내 액의 Pass 방식

One-pass system	Multi-pass system	Recirculation-system
<p>○가장 일반적인 방식</p>	<p>○전열이 나쁜 액이나 전열관의 수가 많아 관당 액량이 감소하여 액막을 형성하는데 충분한 유량이 확보되지 않은 경우</p>	<p>○스케일링이 심한 액이나 최종관 등에서 액량이 매우 적어 다 Pass 방식으로도 불충분한 경우</p>

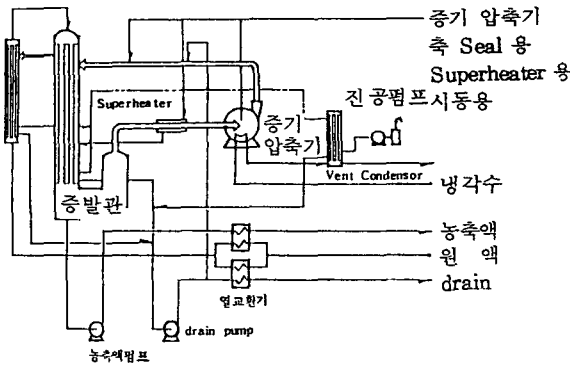


그림 8 MVR Evaporator의 표준 Flow-sheet

과열시켜 주는데, 통상 토출증기중의 일부를 바이패스 시키든가 또는 Live steam을 공급한다.

Desuper-heater 는 증발관의 전열효율을 좋게하기 위한 것으로서, 압축기에서 토출한 과열증기를 Desuper-heater 로서 감온, 포화증기로 하여 증발관의 가열층에 도입시킨다. 또한 계내로 유입된 불응축가스는 Vent-Condensor 로서 냉각한 후 진공펌프로 흡입하여 대기로 배출시킨다. 이하 본 장치의 주된 기기인 증발관과 증기압축기에 대하여 기술한다.

가. 증발관

일반적으로 증발관은 열의 수수를 행하는 가열부(열교환부)와 발생한 증발증기와 액체를 분리하기 위한 증발실로 되어 있으며, 그림 9에서와 같은 각종 형식의 증발관이 사용될 수 있다.

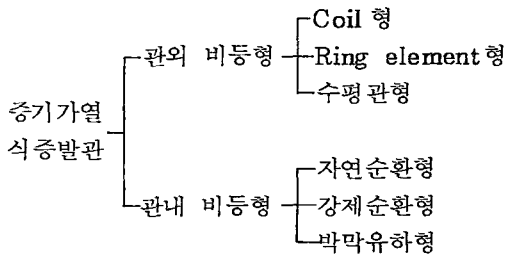


그림 9. 증기가열식 증발관의 종류

증발관의 형식은 원료액의 물리적, 화학적

성질에 적합한 것 중에서 가장 효율이 좋은 것을 선택하는 것이 좋다. 효율이 좋은 증발관이란 U 값이 큰것을 의미하며, U 값은 다음과 같은 기본식으로 표시된다.

$$U = Q / A \cdot \Delta T$$

여기서,

Q : 증발에 필요한 전열량(kcal/h)

U : 총괄전열계수(kcal/m²h °C)

A : 전열면적(m²)

ΔT : 이용할 수 있는 온도차(°C)

상기식에서 Q가 일정할 경우 U 값이 크다는 것은 다음과 같은 장점이 있음을 알 수 있다.

(1) ΔT가 일정하다면 U 값이 클수록 A는 적게 되어 장치비용이 싸게 되고 설치면적도 적게된다.

(2) A가 일정하다면 U 값이 클수록 ΔT를 적게 할 수 있어 MVR 시스템 적용시 유리하다.

MVR 시스템에서는 주로 박막유하식 증발관(Falling film evaporator)이 사용되고 있는데, 이는 그림 9에 나타난 타형식의 증발관에 비해 U 값이 클 뿐만 아니라 가열시간, 특히 체류시간이 짧아 열감수성 물질에 적합하고 스케일링에 강하며 액보유량이 적어 시동, 정지, 세관 등에도 용이하다는 특징을 가지고 있다.

나. 증기압축기

전술한 바와 같이, MVR Evaporator에서는 원료액에서 발생한 Vapor 를 재압축하기 위해 압축기가 필요하다. 압축기의 종류는 그림 10에서와 같이 여러가지가 있으나 MVR

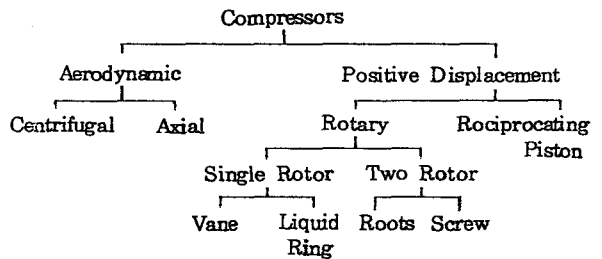


그림 10 기계식 압축기의 형식분류

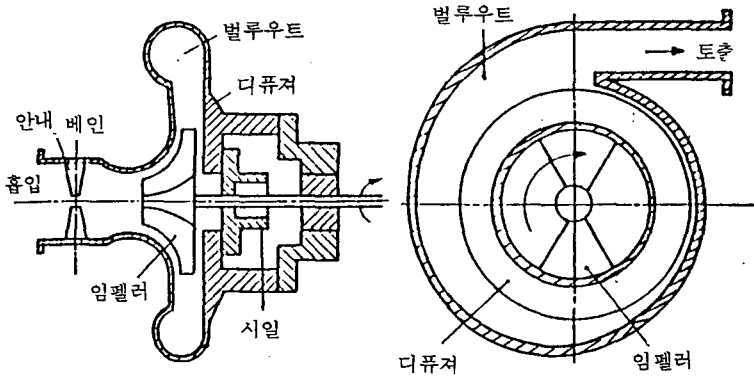


그림 11 원심식 압축기

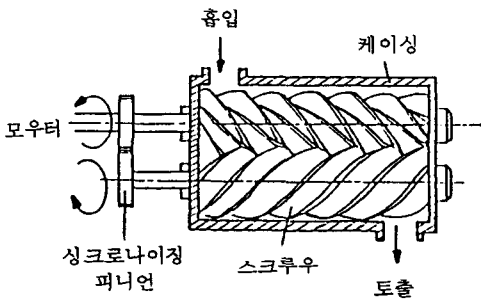


그림 12 스크류식 압축기

또한 압축기는 장치의 심장부와 같은 기기 이므로 높은 신뢰성과 내구성이 필요하며 부하변동시에도 적응성이 있어야 하고 정격시는 물론 부분부하시에도 효율이 좋아야 한다 따라서 이와같은 특성을 고려해 MVR시스템에서는 주로 원심식 또는 스크류식 압축기(그림 11, 12 참조)가 사용되고 있으며, 그 각각의 특성을 비교하여 보면 표 4와 같다.

한편, 압축기의 구동방식으로는 모터 구동방식이 일반적이지만 모터 대신에 스팀터빈을 직결하는 방법도 있다. 이는 스팀의 열낙차로서 터빈구동 압축기를 회전시키는 방법으로 Utility 와 Process 상황에 따라서는 이 방식이 더욱 에너지 절약적이다.

표 4. 압축기의 형식별 특성비교

형식	스크류식	원심식
압축방법	회전용적식	유체역학식
용량(체적유량)	1,000~25,000m ³ /h	7,000~500,000m ³ /h
압축비(단수당)	3~7	1.8~2
용량제어	10~100% 연속	70~100% 연속
압력변화시 운전안전성	안정	안정
진동	거의 없음	없음
보수관리	장기간 불요	장기간 불요
내구성	가장 양호	양호

4.2 특징

일반적으로 이상적인 폐열회수시스템이라고 하는 것은 폐열발생부와 이용부가 가까우며 회수와 이용이 동시에 행해지는 것이다. 즉 회수된 폐열을 직접 발생원으로 되돌려 유효이용하는 시스템이다.

MVR 방식은 이런 점을 중요시한 것으로서, 타증발방식(단중, 다중, 열압축식 등)과 같이 증발관에서 발생한 Vapor를 냉각시켜 그냥 버리는 것이 아니고 전량 회수하여 가열원으로 재이용하기 때문에 다음과 같이 에너지 효율이 크며, 가열증기 및 냉각수가 거의 불필요하다는 등의 장점을 가지고 있다. 표 5

시스템에 사용되는 압축기는 수증기를 압축하기 위해 특별히 설계된 압축기로서 압축하는 증기의 비체적이 큰 동시에 일반적으로 큰 승은폭이 요구되기 때문에 증용량이 상으로서 고압축비인 것이 주로 사용된다.

표 5. MVR Evaporator 와 타 증발장치의 성능비교

No	Item	Conventional Eva	MVR Eva
1	Steam Consumption	Required	Not Required
2	Power Consumption	Low	Medium
3	Cooling Water for Con- denser	Required	Not Required
4	Running Cost	High	Low
5	Condenser	Required	Not Required
6	Vacuum Pump	Large	Small
7	Stable Operation	Ordinary	Easy
8	Automatic Control	Not Automated	Full Automatic Control
9	Noise	Ordinary	High
10	Capital Cost	Medium	High
11	Installation	Easy	Difficult
12	Maintenance	Easy	Difficult
13	Maintenance Cost	Ordinary	Ordinary
14	Life	Long	Long
15	Installation Space	Large	Small

는 전반적인 성능을 객관적으로 비교한 것이다.

(1) 에너지 효율이 커서 에너지절약형이다.

증발 Vapor 의 보유열량(통상 615-649 kcal /kg)을 가열원으로서 재이용하기 때문에 압축기의 효율을 고려하여도 20-40 kcal /kg의 에너지를 주는 것만으로 증발이 가능하다. 일반적으로 Vapor 량이 많을수록 Merit 는 크게 된다.

(2) 전력이 주에너지원이고 가열증기는 거의 불요하다.

에너지원으로서 전력을 사용하고 있기 때문에 clean 하며 대형보일러의 설치가 불요하다. 따라서 대기오염이 감소하며 에너지 확보가 용이하다.

(3) 냉각수가 불요하다.

발생증기를 가열원으로 재이용하기 때문에 냉각수량이 대폭적으로 감소하고 따라서 폐수 처리가 경감된다.

5. MVR Evaporator 의 응용

5.1 외국의 응용예

증발장치에 있어서 MVR 방식은 외국의 경우 오래전 부터 알려져 왔으나, 1970 년대의 오일쇼크 이전까지만 하더라도 압축기의 가격이 고가일 뿐만 아니라 다중효용관이나 열압축방식 등에 비해 크게 경제성이 좋지 않음으로 실제 채용한 예는 그렇게 많지 않았다.

그러나 70 년대의 두 차례의 오일쇼크는 석유가격을 앙등시켰고, 근래에 와서는 압축기의 고효율화 및 수력, 원자력, 석탄 등 대체 에너지의 사용증가에 따른 전력요금의 안정으로 MVR Evaporator 의 경제성이 입증됨으로서, 그 보급실적은 급속히 증가하게 되었다.

표 6 은 외국에 있어 MVR Evaporator 의 이용예를 나타낸 것이다. MVR Evaporator 는 표 6 에서 볼 수 있는 바와 같이 식품, 화공 펄프 등 각종 공업의 증발농축에 널리 이용되고 있으며, 그 구체적 보급실적은 통계치

가 발표된 것이 없어 제시할 수 없지만, 일본의 경우는 식품업종의 증발장치만 해도 60대 이상이 보급되고 있으며, 최근에 이르러 증발장치의 MVR 방식 채용은 극히 당연한 것으로 인식되고 있다.

표 6. MVR Evaporator 의 이용예

식 품	당액(포도당, 물엿, 과당, 정제당), 과즙, 전지 및 탈지우유, 젤라틴, 조미료, 커피추출액, 효모, 침지수(Corn Steep Liquor ; CSL) 등 농축
화 공	티타늄, 효소, 약초추출액, 망초, 아교, 위스키 및 알콜증류폐액, 당밀폐액 등 농축
섬 유 펄 프 등	카프로 락탐액, 흑액(Black Liquor) 등 농축

5.2 국내의 이용예

현재 MVR System은 국내의 경우 증발장치에만 이용되어 지고 있으며, MVR Evaporator 의 국내 이용예를 필자가 조사한 결과는 표 7 과 같다. 국내에서 증발장치에 MVR 방식을 적용한 것은 82년부터이며, CSL 농축을 시작으로 포도당, 과당, 정제당 등의 당액, 우유, 망초, 글리세린, 카프로락탐액, 흑액, 당밀폐액 등의 농축에 총 11개 업체에서 약 13기가 설치 운전되고 있다.

증기압축기는 주로 국내 공급업체를 통해 일본, 미국, 독일 등에서 수입한 것이며, 그 형식은 원심식 압축기를 사용하고 있다. 또한 압축기의 구동원은 터빈 1개사를 제외하고는 모두가 전동기를 채용하고 있는 것이 특징이다.

국내에서 MVR 시스템의 보급이 잘 이루어

표 7. 국내 MVR Evaporator 의 적용예

공 장	용 도	설치 년도	압축기 메이커	형 식 (단수)	유 량 T/Hr	포화온도 (°C)			회전수 rpm	구 동 기	
						흡 입	토 출	승온폭		종류	출력kW
A	CSL 농축	1982	Allis-Chalmers (미국)	원심식(1)	20.5	100	111	11	9.258	M	600
	포도당농축	1984	Kobe Steel (일본)	"	6.9	70.3	85	14.7	11.510	M	290
	과당 농축	1985	"	"	10	60	80	14	10.060	M	390
B	CSL 농축	1983	Linde (독일)	"	2.5	70.6	85.9	15.3	26.082	M	120
C	"	1983	"	"	2.5	70.6	85.9	15.3	6.082	M	120
D	당액 농축	1986	Sulzer(스위스)	"	5.7	60	80	20	12.000	M	321
E	당밀폐액 농축	1984	Kawasaki(일본)	"	3.4	70	81	11	19.900	M	135
F	망초 농축	1987	Allis-Chalmers	"	50	02.8	108.3	5.5	10.000	M	1.125
G	카프로락탐액농축	1983	Linde 사(독일)	"	9.65	98	109	11	17.000	M	140
H	"	1986	Kawasaki (일본)	"	3.5	100	110	10	32.000	M	120
I	우유 농축	1985	Piller (독일)	"	8	62	84	22	3.150	M	120
J	글리세린농축	1986	Kawasaki (일본)	"	1.2	74.6	89	17.4	41.900	M	90
K	흑액 농축	1985	Ehara (일본)	"	26.5	80	91	11	8.850	T	960

지지 않는 주된 이유는 증기압축기, 계장 등 장치비의 고가, 에너지 가격(전력가격이 유류 가격에 비해 상대적으로 높음), MVR 설치효과에 대한 인식부족 등으로 생각할 수 있으며, 이의 보급 확산을 위해서는 위와 같은 문제점의 개선과 함께 증기압축기의 국산화가 시급히 요구된다.

5.3 MVR시스템의 급후 도입가능분야

현재 MVR시스템은 국내의 경우 증발장치에만 이용되어지고 있지만 외국에서는 그 응용범위를 넓혀 증발장치외에도 증류, 끓임, 건조 등의 처리를 행하는 증류장치, Wort Pan 건조장치 등에 실용화되어 에너지절약에 큰 기여를 하고 있는 것으로 보고되고 있다

6. 맺음말

이상 증발장치의 에너지 효율화의 경과, MVR Evaporator의 원리, 구성 및 특징과 함께 MVR 시스템의 국내외 응용에 등에 대하여 소개하였다.

산업부분에서의 에너지절약은 폐열의 고효율회수 및 유효이용이 중요시되고 있으며, 지금까지의 실정은 온도가 높고 회수가 용이한 폐열은 거의 대부분 회수하여 이용하고 있으나 저온 폐열은 온도가 낮다는 등의 이유로 그대로 방출하고 있는 예가 많아 이의 회수 이용이 절실히 요구된다 하겠다.

MVR 시스템은 비교적 낮은 온도의 폐증기를 기계적 압축기로 압축, 고온의 증기로 하여 가열열원으로 재이용하는 방식이기 때문에 증발을 수반한 가열공정(증발농축, 증류, 끓임공정등)에 그 적용이 유효하며, 특히 폐증기량이 많고 증기포화온도 승온폭이 작은 경우, 그리고 비교적 증발증기압이 높은 범위, 즉 증발증기온도가 80℃이상에 더욱 경제적이다. 향후 이방식의 적용이 더욱 증가하리라 예측 되지만 공장의 입지조건 에너지 조건, 플랜트 운전조건 등을 충분히 검토하여 최적의 시스템이 채용되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. M. Maljean, Mechanical Vapor Compression For Concentration by Evaporation, Report Written by the "Process heat recovery" Working group, Techniques and Technologies of Electroheat, pp.1-92.
2. G. Zimmer, Latest Developments in Energy Efficient Evaporation, WIEGAND Evaporators, Inc. pp.1-7.
3. Davinder K. Mehra, Selecting Evaporators, Chemical Engineering, Feb., 1986, pp.56-72.
4. H. Moser, J.P. Denisart, Mechanical Vapour Compression(MVC) Heat Recovery System, Vol.4, No.5, 1984, pp.333-336.
5. P.W. Dickinson, Pre-Concentration of Feed Stock, Heat Recovery System, Vol.6, No.1, 1986, pp.67-71.
6. Hans Pennink, The State of the Art of High Speed Overhung Centrifugal Compressors, Altas Copco information, pp.1-21.
7. Executive Briefing Report, Evaporation-A Prime Target for Industrial Energy Conservation, ERDA by Centec Consultants, Inc., Roston Virginia C 00/2870-1, UC95f, pp.1-23.
10. R.M. J. fay, MVR PLANT, Hydro-Electric, The APV Company Ltd. pp.1-7.
11. 박준택 외, 농축공정의 MVR시스템 적용 실증연구, 한국동력자원연구소 보고서, KE-87(B)-8.
12. 박준택 외, MVR 증발시스템 설계, 에너지 R & D 11(3) 165-182(1989).