

산업체 에너지절감 Case Study

글 / LIG엔설팅(주) 최동규 이사

산업체 에너지소비량은 전체 에너지소비량의 60%에 육박하고, 이들 산업체 대부분의 업종에서 '요' 및 '로'를 사용하여 제품을 생산한다. '요' 및 '로'는 열에너지 사용량이 매우 많은 설비일 뿐 아니라 대부분의 경우 송풍기와 같은 전기에너지와의 상호 연계성이 높아 이에 대한 개선을 통해 열에너지와 전기에너지를 동시에 절감할 수 있다.

I. 요/로 사업장에서의 에너지절감

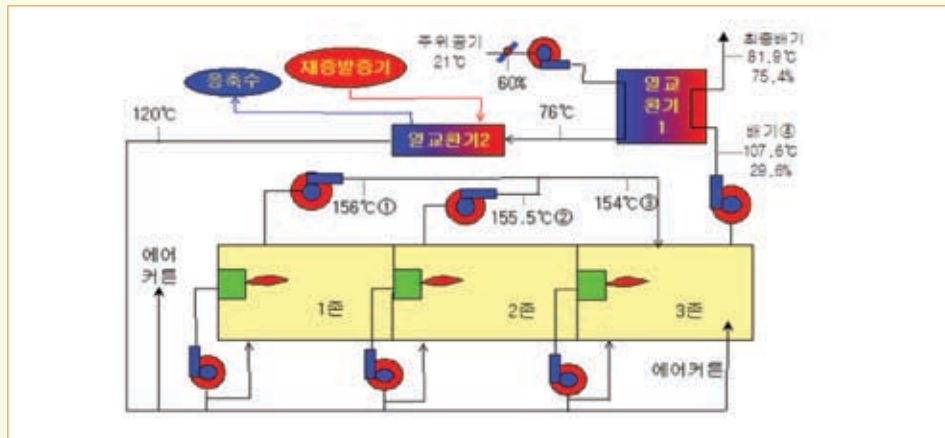
이 같은 절감활동을 위해서는 설비의 에너지사용에 대한 기본 현황 파악이 매우 중요하고, 이를 실제적으로 추진하는 방법이 열정산이 된다. 열정산을 통한 체계적 접근은 에너지사용 현황에 대한 근본적 파악이라 할 수 있으며, 이를 통해 적절한 열에너지의 개선 대응책을 찾을 수 있을 뿐 아니라 이를 통해 송풍기의 반송동력에 대한 운전상태와 개선의 방향도 부수적으로 파악하게 된다.

1. 건조로 폐열회수 예

가. 현황

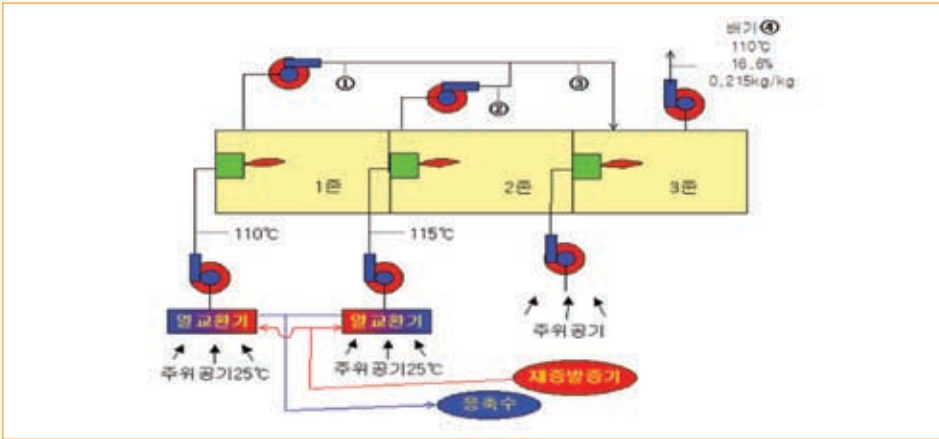
사업장에는 생산용 건조로 2대가 설치되어 있으며, 이 건조로는 LPG를 직접 연소하여 온도를 상승시킨다. 상승된 내부 분위기 온도는 노내 상대습도를 낮춤으로서 통과 되는 보드의 수분을 빠른 시간에 건조한다. 2대의 건조기중 A호기는 배기열의 일부를 회수할 수 있도록 폐열회수기가 설치되어 있으나, B호기는 폐열회수기가 아직 설치되어 있지 않아 성능이 저조한 상태로 운전되고 있다.

〈그림 1〉 배기열 회수의 A호 건조로 (폐열회수기 설치)



〈그림1〉에 도시한 것과 같이 A호 건조기에서 배출되는 배기가스의 상태는 81.9°C, 75.4%로 비교적 낮은 상태로 방출되나, 〈그림2〉에 도시한 B호 건조기의 경우는 배출되는 배기가스의 온도가 110°C에 이르는 등 배기가스의 폐열이 버려지고 있음을 알 수 있으며 결과적으로 열효율이 저조한 상태를 예상할 수 있다.

〈그림 2〉 배기열 미회수의 B호 건조로 (폐열회수기 미설치)



나. 문제점

운전 중인 건조로에 대해 열정산을 실시하여 기본적인 열의 출입과 유효한 형태로 사용되는 열량의 총합을 산정하고, 그 결과로서 열효율 및 각부의 손실을 산출하게 되며, 이들 결과를 토대로 객관적 수치에 바탕을 둔 문제점 및 그에 따른 개선대책을 구성한다.

〈그림 3〉 건조로 각부의 상태량 측정과정



열정산 산정결과

- A호기 : 78.2%
- B호기 : 66.0%

열정산 산정결과 표

산출된 열정산 결과는 〈그림4〉와 〈그림5〉에 도시한 것과 같으며 A호기의 성능이 12% 향상된 것을 알 수 있다.

〈그림 4〉 A호기의 열정산 결과

번호	항목	기호	입열		출열	
			kcal/h	%	kcal/h	%
1	연료의 열량	Q1	16,449,750	87.4		
2	폐열회수량	Q2	666,040	3.5		
3	입구제품의 보유열	Q3	196,616	1.0		
4	석고발열량	Q4	1,518,975	8.1		
5	건조후 수분 보유열	L1			40,068	0.2
6	건조제품보유열	L2			568,704	3.0
7	증발수분보유열	L3			14,130,376	75.0
8	배기보유열	L4			2,638,176	14.0
9	방열 및 기타손실열	L5			1,454,057	7.7
	합계	Qi.Li	18,831,381	100.0	18,831,381	100.0

〈그림 5〉 B호기의 열정산 결과

번호	항목	기호	입열		출열	
			kcal/h	%	kcal/h	%
1	연료의 열량	Q1	12,160,630	88.2		
2	폐열회수량	Q2	440,640	3.2		
3	입구제품의 보유열	Q3	135,736	1.0		
4	석고발열량	Q4	1,048,613	7.6		
5	건조후 수분 보유열	L1			27,702	0.2
6	건조제품보유열	L2			392,601	2.8
7	증발수분보유열	L3			8,727,331	63.8
8	배기보유열	L4			2,815,068	20.4
9	방열 및 기타손실열	L5			1,822,917	13.2
	합계	Qi.Li	13,785,619	100.0	13,785,619	100.0

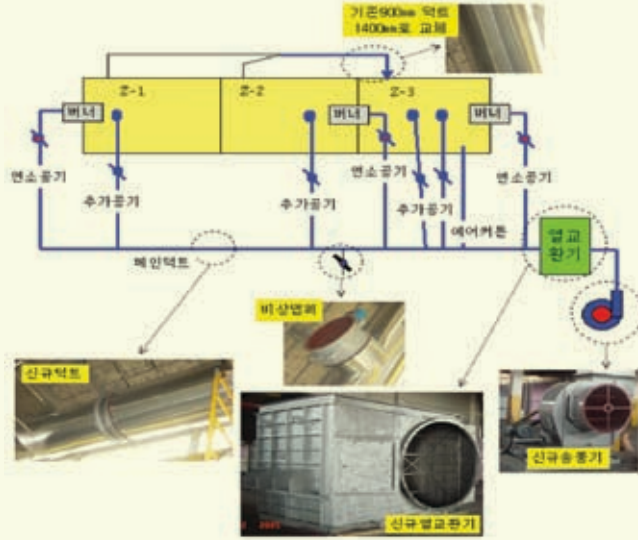
다. 개선대책

폐열회수시스템을 배기부에 설치하여 폐열을 회수하고, 이중 일부는 연소용 공기의 예열에 이용하며 나머지 가열공기는 건조로 내부에 직접 급기 한다.

건조로 자체는 추출된 수분을 포함한 내부 공기의 배출이 계속적으로 이루어지게 되어 상당량의 내부공기가 외부로 배출됨에 따라 내부가 음압으로 유지되는 등 질량보존의 법칙에 따라 외부공기의 유입이 각부의 틈을 따라 발생하게 된다.

이때 이 틈을 따라 유입되는 공기는 내부보다 온도가 매우 낮은 상온의 주위 공기이므로 이들을 로내 분위기가 지 끌어올리기 위해서는 상당량의 추가적 에너지 사용이 필요하다. 따라서 폐열회수기에서 가열된 여분의 가열공기를 직접 로내로 급기하면 유입된 만큼 외부공기의 유입이 자연스럽게 줄어들고, 결과적으로 사용열원의 일부를 폐열로 대체하게 된다.

〈그림 6〉 설치된 폐열회수기 및 관련 급배기시스템



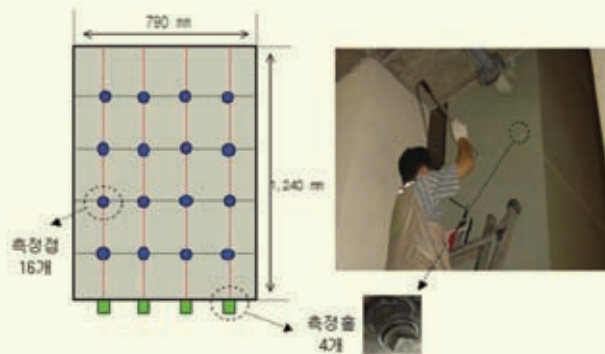
〈그림 7〉 설치된 판형 열교환기와 덕트 연결 과정



◎ 성능측정을 위한 측정홀 및 측정과정

설치된 시스템의 열적성능 산정을 위해 각부에 측정홀을 〈그림8〉과 같이 구성하고, 시운전시 풍량 및 상태를 측정하여 성능을 산출한다. 송풍기 등 전기사용 설비는 전력분석기를 활용하여 전력 및 그에 관련된 성능인자를 〈그림9〉와 같이 측정한다.

〈그림 8〉 측정홀 설치와 풍량측정 과정



〈그림 9〉 송풍기 전력측정 및 그 과정



라. 설치결과

설치 후 성능을 측정한 결과 〈그림10〉에 나타난 것과 같이 목표성능 대비 10% 이상 상향된 결과를 얻게 되어 보증 조건상에 하자 없이 성공적인 에너지절감사업을 이루었다.

그러나 독자의 기준점에 따라 목표대비 성능결과와의 차이가 커 성능예측의 정도가 떨어지는 등 예측능력의 의심을 제기할 수도 있으나, 에너지절감사업(ESCO) 특성상 목표대비 성능 미달이 발생할 경우 심각한 결과를 초래할 수 있어 성능의 여분을 통상 10% 정도 가져가는 관행이 있고, 이를 고려할 경우 성능의 오차는 그리 크지 않음을 알 수 있다.

〈그림 10〉 폐열회수기 설치에 따른 에너지절감 효과와 초기 목표치

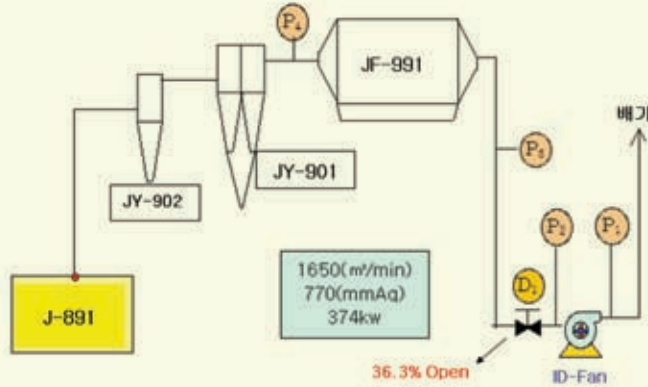
구분		건조기 생산 제품 사양	
		제안 운전조건	변경된 실제 운전조건
급기온도(°C)	입구	24.8	27.3
	출구	83.4	108.0
회수열량(kcal/h)		801,564	1,103,860
목표회수량(kcal/h)		650,000	

2. 고압 인버터 설치적용 예

가. 현황

분체 이송을 위해 사이클론, 필터, 송풍기 등이 설치되어 있으며, 실제 송풍기 운전은 흡입멤버 기준 36%에서 이루어지고 있다.

〈그림 1〉 댐퍼조절을 통해 유량을 조절하는 분체이송 시스템



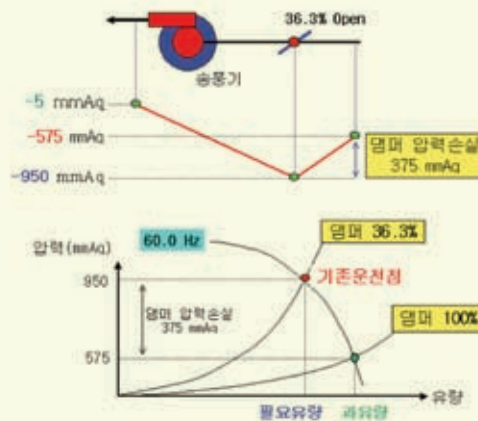
일반적으로 생산시설을 설계함에 있어 송풍기 등 대부분의 기자재 용량은 총 시설의 최대 용량을 기준으로 선정되는 특징을 갖게 되는데, 이는 최대용량에서도 원활한 생산이 이루어져야 하는 산업체의 입장을 반영한 것으로 볼 수 있다. 그러나 이 과정에서 대표적으로 나타나는 것이 송풍기들의 용량과다 문제이며, 이를 손쉽게 맞추기 위해 입출구에 설치된 댐퍼를 일부 잠그고 운전하는 것이다.

이 같은 축소운전은 수도꼭지를 조절하여 수도물의 토출유량을 조절하는 것과 같은 원리이므로 실제 운전상에서 성능문제를 유발할 요인은 전혀 없다. 단, 유량조절시 댐퍼를 잠그는 과정에서 압력손실이 발생하고, 이 발생된 압력손실에 의해 송풍기 동력이 낭비되는 에너지적 측면만이 문제가 되는 것이다.

나. 문제점

댐퍼의 개도조절에 따라 유량조절은 가능하나 그에 따른 압력손실과 동력증가의 현상이 발생한다.

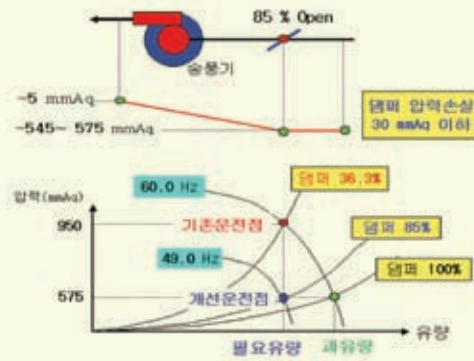
〈그림 12〉 성능곡선에서 표현된 송풍기 압력손실의 변화



다. 개선대책

인버터 적용을 통해 송풍기 풍량을 조절하여, 댐퍼의 압력손실을 제거하고 송풍기 동력손실을 줄인다.

〈그림 13〉 인버터 적용에 따른 송풍기 압력손실의 변화



〈그림 14〉 송풍기 및 설치된 고압인버터



라. 기대효과

적용 인버터에 대한 절감량을 계산하고, 이에 대한 절감의 효과를 도시하면 〈그림 15〉와 같이 표현될 수 있다.

- 계산기준

- 전력단가 : 70 (원/kWh)
- 인버터효율 : 96 (%)
- 송풍기 압력감소율 : 39 (%)
- 송풍기 평균전력 : 353 (kW)
- 가동시간 : 7,325 (h/년)

- 개선전력

$$\begin{aligned}
 &= \text{송풍기평균전력(kW)} \times (1 - \text{송풍기압력감소율}) / \text{인버터효율} \\
 &= 353 \times (1 - 0.39) / 0.96 \\
 &= 129 \text{ (kW)}
 \end{aligned}$$

- 절감전력

$$\begin{aligned}
 &= \text{송풍기평균전력(kW)} - \text{송풍기개선전력(kW)} \\
 &= 353 - 224 = 12 \text{ (kW)}
 \end{aligned}$$

- 절감전력량

= 절감전력(kW) x 가동시간(h/년)
 = 129 x 7,325 = 944,925 (kWh/년)

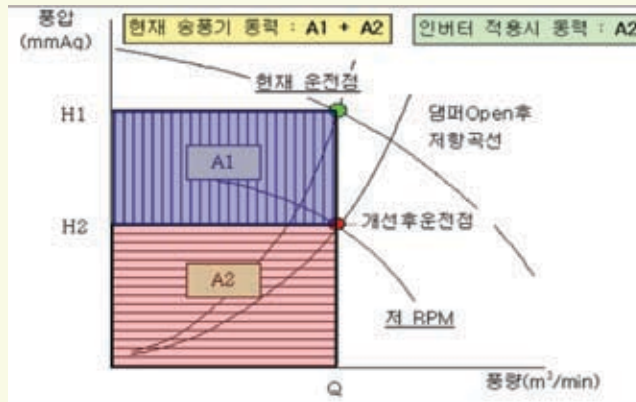
- 절감금액

= 절감전력량(kWh) x 전력단가(원/kWh)
 = 944,925 x 70 = 66,145

- 투자비 : 200,000 (천원)

- 회수년 : 3.0 (년)

<그림 15> 기대효과 계산에 대한 도식적 표현



II. 화학 사업장에서의 에너지절감

산업체 에너지 소비량 중 석유화학업종이 약 50%를 차지하나, 공정 Process에 대한 위험과 난이도가 높아 에너지절감을 위한 접근이 용이치 않다. 그러나 실제 에너지의 사용량이나 절감될 수 있는 영역은 화학적 반응이나 제품품질에 영향을 주는 정밀공정 부분보다는 기계나 전기적 에너지가 직접 적용되는 부분에 실질적 적용이 가능하다.

- 공정엔지니어들은 기계나 전기적 장치에 의한 에너지 투입을 일정한 상수로 간주하는 경우가 많아 운전상황에 따라 절감의 요인이 많을 수 있고,
- 아스펜, 하이시스 등 공정해석 Simulation 툴이 동반되어야 신뢰와 접근 할 수 있는 폭이 넓으며,
- 최근 MVR, TVR, 진공펌프 등에 대한 공정개선 사례가 증가.

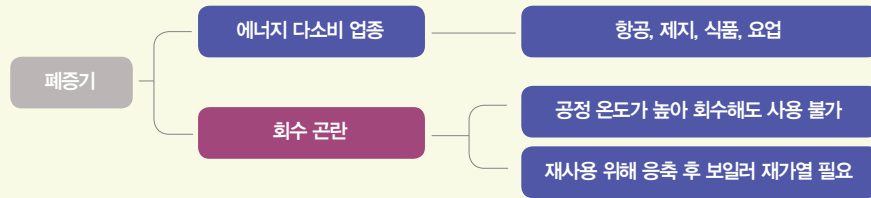
2. MVR/TVR 적용

가. 적용배경

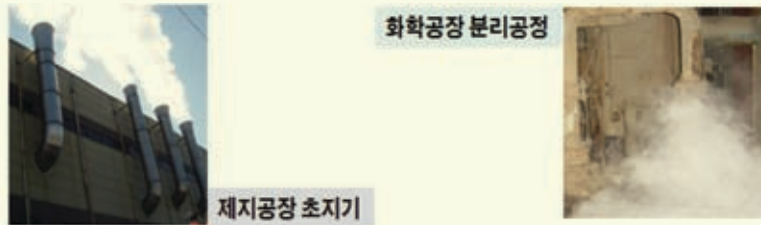
화학업종 등 에너지다소비업종에서는 폐증기 발생이 많으나, 회수가 용이치 않아 버리거나, 냉각에 의한 응축

과정 후 보일러로 다시 가열해야 사용이 가능하는 등 <그림16>에 도시한 것과 같이 매우 비효율적인 사용이 이루어지고 있다.

<그림 16> 에너지다소비업종에서의 폐증기회수 현실

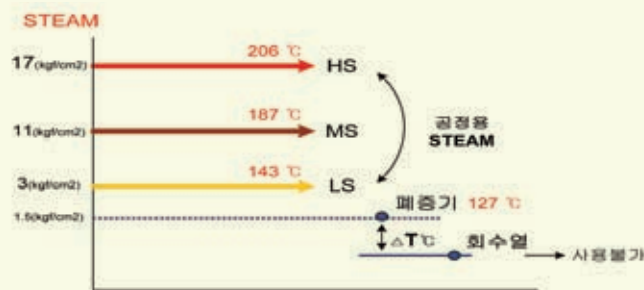


<그림 17> 실제 사업장에서 발생되고 버려지는 폐증기



스팀사용이 많은 화학공장에서 사용되는 스팀은 <그림18>에 도시한 것과 같이 고·중·저 스팀으로 나누어 공급하고, 이를 사용하는 과정 중에 폐증기가 발생한다. 이를 별도의 시설을 통해 회수하더라도 실제의 이용 가능한 공정대비 사용온도가 낮아 실제적 사용은 매우 제한적이다.

<그림 18> 실무적으로 사용되는 현장의 스팀 압력 수준

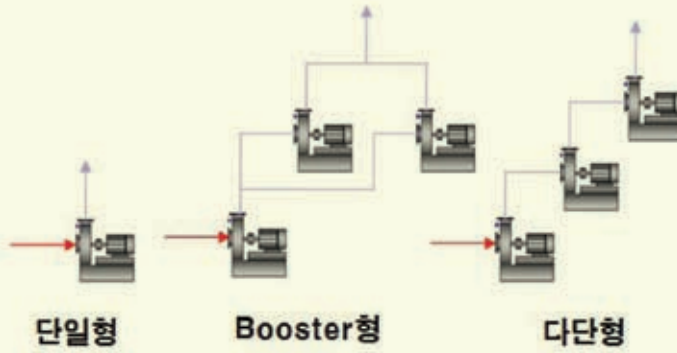


◎ MVR 개요

Mechanical Vapour Recompression(기계적 증기 재압축)의 약자로 Blower 또는 Compressor의 기계적인 강제압축을 통해 버려지는 폐증기의 에너지를 회수, 공정열원으로 재사용하는 방법이다. 일반적으로 사용 폐증기

와 가압할 압력에 따라 1단, 2단, 또는 3단 등으로 조합하고 이에 Evaporater 등 열교환기를 조화하는 일련의 엔지니어링과정이 필요한 시스템이며, 적용예는 <그림20>에 도시한 것과 같다.

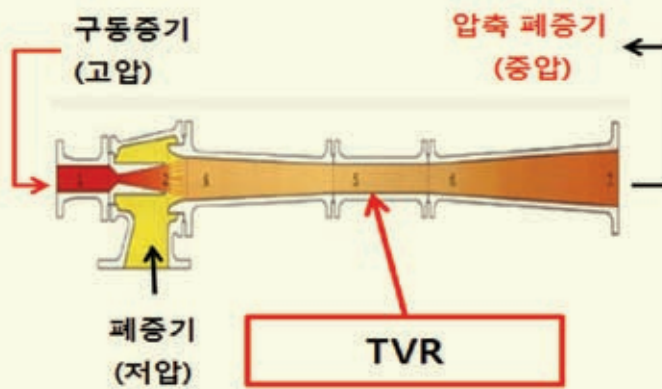
<그림 20> 여러 가지 조합에 의해 사용되는 MVR 적용 예



◎ TVR 개요

Thermal Vapour Recompression(열적 증기 재압축)의 약자로 구동증기(Motive Steam)의 에너지 변환을 통해 폐증기의 열적 압축을 얻고, 이를 폐증기의 에너지로 회수, 공정열원으로 재사용하는 방법이다.

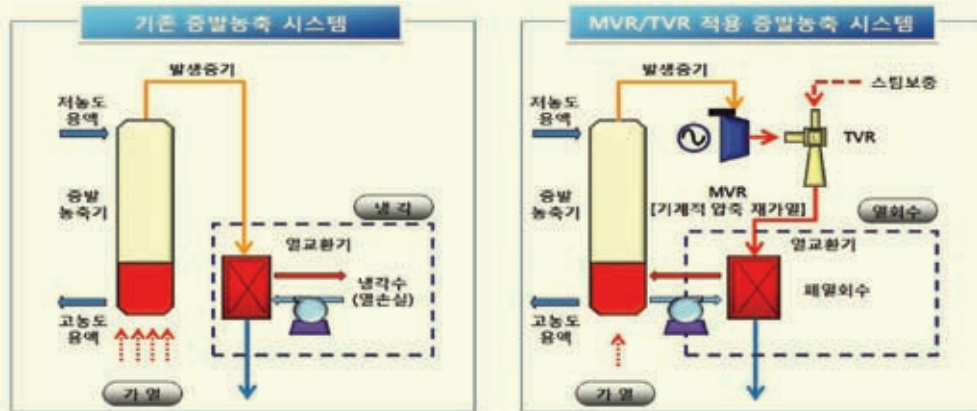
<그림 21> TVR의 일반적 구성



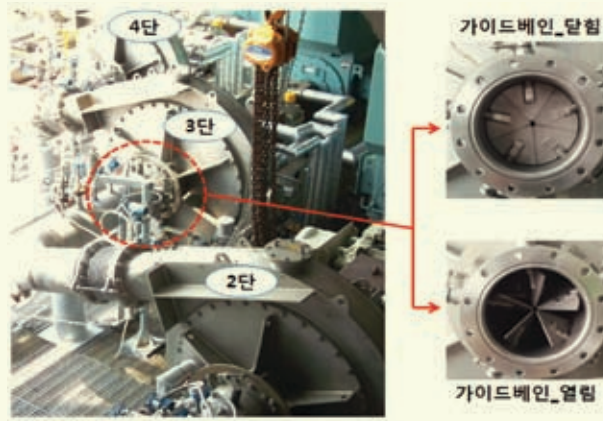
나. 증발농축과정의 실제 적용

기존 공정에서는 증발농축과정 중 발생하는 폐증기가 냉각수를 통해 버려지나, 이를 MVR이나 TVR을 통해 이 용가능한 수준의 압력으로 가압하고, 이를 증발농축기의 열원으로 이용한다.

〈그림 22〉 증발농축기에 MVR 및 TVR 적용



〈그림 23〉 실제 설치된 4단의 MVR시스템



다. 기대효과

적용된 MVR의 개략적 기대효과를 요약하면 다음과 같이 MVR COP 3.0 이상에서 경제적 타당성이 가능한 것으로 산정되고, 실제 MVR성능도 이 이상의 영역에서 실현된다.

〈그림 24〉 MVR 적용 경제성 요약

