

〈技術解説〉

## 염색가공공장 폐수로부터 폐열회수를 위한 열펌프 기술의 적용성 검토

박영태 · 함성원 · 허만우\* · 공성용\*\* · 장기창\*\*\* · 박성룡\*\*\* · 박준택\*\*\*

경일대학교 화학공학과

\*경일대학교 섬유패션학과

\*\*한국환경정책평가연구원

\*\*\*한국에너지기술연구소 폐열이용연구센터

(2001년 4월 16일 접수)

## Application of Heat Pump System for the Heat Recovery from Dyeing Wastewater

Young-Tae Park, Sung-Won Ham, Man-Woo Huh\*, Sung-Yong Gong\*\*,  
Ki-Chang Chang\*\*\*, Seong-Ryong Park\*\*\*, and Jun-Tack Park\*\*\*

Dept. of Chem. Eng., Kyungil University

\*Dept. of Textile & Fashion Technology, Kyungil University

\*\*Korea Environment Institute

\*\*\*Waste Heat Utilization Research Center, Korea Institute of Energy Research

(Received April 16, 2001)

### 1. 서 론

우리나라의 에너지소비량은 연간 100억불 이상이며 이 중 약 97%를 수입에너지에 의존하고 있기 때문에 에너지 고가시대에 에너지를 절약하기 위한 노력은 무역수지 개선은 물론 에너지 다소비 산업의 경쟁력 향상에도 크게 기여할 수 있다. 염색산업은 공정특성상 다량의 증기와 고온수가 필요한 에너지 다소비 산업으로 원가절감에 의한 경쟁력 향상을 위해서는 에너지 사용량의 절감과 같은 많은 노력이 절실히 요구되고 있다. 대구광역시의 염색산업단지내에는 약 115개 염색업체가 입주해 있으며, 업종별로는 면직물, 폴리에스테르 및 나일론 등의 염색가공업체가 약 98개사로 거의 대부분을 차지하고 있다. 1차단지 입주업체(약 95개사)의 경우에는 열병합발전소로부터 공급받은 증기를 이용하고 있으나, 2차단지 입주업체(20개사)의 경우에는 자체 보일러에서 생산한 증기를 이용

하여 염색가공을 하고 있다. 제조원가중에서 에너지가 차지하는 비중이 매우 크므로 대외 경쟁력을 강화하기 위해서는 에너지절감 방안에 대한 대책이 매우 필요한 실정이다<sup>1~3)</sup>.

염색가공공정은 폴리에스테르 섬유의 경우 정련, 감량, 염색가공 및 수세 등의 일련의 공정으로 구성되어 있는데, 이들 단위공정은 다량의 증기와 고온수가 사용되고 있으며 여염색가공후 다량의 폐수가 발생되고 있다. 이렇게 배출된 폐수는 각 공장의 저장조에 집수된 후에 공동폐수처리장으로 방류되어 처리된다. 염색가공공정은 각 업종마다 처리공정이 다르고 공정에 따라서 폐수의 양, 수질 및 수온이 다르게 배출되고 있으나 일반적으로 저류조에서의 폐수배출온도는 연평균 약 40℃ 정도이며, 대구광역시에서 배출되는 염색폐수배출량은 연간  $2.9 \times 10^7$ 톤으로서 공장에서 폐수방류시의 발생되는 폐열량은 공업용수의 평균온도인 약 18℃를 기준으로 할 경우 약 64,540TOE/년으로 막

대한 양이다<sup>3)</sup>.

이상과 같이 염색가공공정은 에너지 다소비형이며, 염색조업을 수행하는 과정에서 저온의 폐수가 다량으로 발생하고 있지만 대부분의 업체에서 폐수가 갖는 열에너지는 미활용되고 있으며, 방류시 폐수온도가 40℃를 초과할 때에는 업체에서 부과금을 지불해야 하는 실정이므로 공동폐수처리장으로 방류하기 전에 강제 냉각시키고 있다. 따라서 염색업체 개별로 열펌프(Heat Pump) 등과 같은 열회수장치를 설치하여 발생하는 저온폐수열을 회수하여 공정용 온수나 급수가열 등으로 활용하면 연료사용량을 절약하고 강제 냉각비용이나 고온부과금과 같은 부담도 없게 되며, 이산화탄소 배출량 감소에 따른 환경보전에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다<sup>4-5)</sup>.

따라서 본 고에서는 염색가공업체에서 배출되는 염색폐수열을 회수하여 이를 자체 에너지로 사용하여 에너지 비용 절감을 이룰 수 있는 폐열회수시스템의 기술적, 경제적 타당성 평가를 통해 적용가능성을 검토하였다. 먼저 열펌프를 이용한 폐열회수시스템의 적용가능성, 적정 규모의 도출 및 시스템 구성 방안을 마련하기 위하여 폐열원인 염색폐수의 배출량 및 폐수의 온도를 검토하였다. 폐열회수시스템을 통해 회수된 폐수열을 효율적으로 이용하기 위한 방안을 도출하기 위해서 회수된 폐수열의 이용방안 및 이용온도 수준에 관해 실제 염색업체의 의견을 설문서를 통해 파악하고 이를 바탕으로 흡수식, 압축식 열펌프 방식의 폐열회수시스템을 구성하였다. 마지막으로 500,000kcal/hr의 용량을 갖는 열펌프 방식의 폐열회수시스템의 경제성과 투자비 회수기간을 평가하여 염색폐수열 회수시스템의 경제적 타당성을 검토하였다.

## 2. 열펌프 기술의 원리

열펌프는 저온의 열원을 이용하여 고온의 이용가능한 온도까지 올릴 수 있는 장치이다. 열펌프는 이용하려고 하는 온도와 저온열원의 온도차가 작고, 구동에너지를 소비가 적을수록 그리고 가능한 수요측 가까이에 저온열원이 풍부할수록 경제성이 높다. 열펌프의 경제적인 승온폭의 상한은 증기압축식의 경우 40~60℃이지만 수요측의 온도의 상한은 주로 사용하는 작동매체의 열안정성에 달려 있으며, 현재 사용되고 있는 프레온계통의 작동매체는 120℃ 정도가 상한으로 되어 있다. 주로 산업용으로 사용되는 압축식 열펌프와 흡수식 열펌프의 작동원리는 다음과 같다.

### 2.1 압축식 열펌프

압축식 열펌프의 방식에서는 프레온 등을 작동매체를 사용하고 냉동사이클에 있어서의 냉매상태 변화(압축, 응축, 팽창, 증발)를 간접적으로 이용하는 냉매압축방식과, 수증기 및 화학공정의 가스를 직접 흡입하여 단열압축에 의해 고온의 증기 및 가스를 발생하는 자기증기압축방식이 있으나 저온 폐열을 직접 회수하기 위해서는 주로 냉매압축식 열펌프가 활용되고 있다.

냉매압축식 열펌프의 기본적인 구성은 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 증발기와 일컫는 열교환기내에서 작동매체액(통상 프레온)이 폐열 등과 같은 열원으로부터 열을 흡수하여 등압상태에서 증발하고 압축기서 승온, 승압된다. 고온, 고압의 냉매가스는 응축기라 일컫는 열교환기로 보내어 고온상태에서 액화되고 이 과정에서 방출된 열은 가열의 목적으로 이용한다. 액화된 냉매는 감압을 위한 팽창밸브를 통과한 후 다시 증발기로 들어가서 사이클을 완성하게 된다. 즉, 열펌프는 물펌프가 물을 퍼올리는 것과 같이 열을 온도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 운반하는 것으로 증발기에서 열을 흡수하고 응축기에서 이 흡수열과 동력분의 열을 방열하므로써 폐열 등으로부터 증발기에서 흡수한 열만큼 에너지를 얻을 수가 있는 에너지 회수 이용 장치이다. 압축식 열펌프는 증발기, 압축기, 응축기 및 팽창밸브의 기본적인 요소로 구성되어 있으며, 작동매체나 압축기 구동용의 원동기를 포함시켜서 열펌프의 기능을 발휘할 수 있게 된다. 실용화되고 있는 각종 열펌프중에서 최고의 성적계

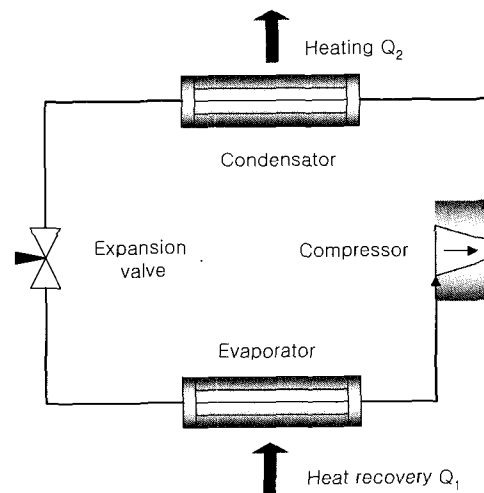


Fig. 1. Cycle of compression heat pump.

수(Coefficient of Performance)를 얻을 수 있는 것이 장점이다.

2.2 흡수식 열펌프

흡수식 열펌프는 저온열원으로부터 고온열원으로 열을 이동시키는 장치로 제1종 흡수식 열펌프(저온흡수식)와 제2종 흡수식 열펌프(고온흡수식)로 대별할 수 있다. 제1종 흡수식 열펌프는 증기, 고온수, 연료의 연소열 등 고온의 열에너지를 운전열원으로 하며, 증발기에 공급하는 열원수로는 공장의 폐온수, 온천수, 공정용냉수 등이 사용되고 있다. 제2종 흡수식 열펌프는 고온의 열에너지를 투입하지 않고 폐열만을 가열원으로 이용하여, 80℃내지 140℃ 정도까지의 고온의 온수 또는 증기를 발생시키는 것으로 가열입열량의 약 절반 정도의 열출력을 얻을 수 있는 장치이다. 공장 폐온수로부터 열회수를 위해서는 제1종 흡수식 열펌프가 더 널리 사용된다.

제1종 흡수식 열펌프는 Fig. 2의 작동원리에 나타난 바와 같이 증발기, 흡수기, 응축기, 발생기 등으로 구성되며, 냉매로는 물이, 흡수액으로는 Li-Br액이 주로 사용되고 있다. 증발기에서 냉매 펌프에 의해 증발기관 상부에 살포되는 냉매는 열원으로부터 열을 빼앗아 증발하여 흡수기에 살포되고 있는 흡수액에 흡수되며 열을 방출한다. 냉매증기의 흡수에 의해 방출된 열은 흡수관내를 흐르는 온수로 전달된다. 흡수기에서 냉매증기를 흡수하여 농도가 희박하게 된 흡수액은 흡수액펌프에 의해 열교환기를 거쳐 재생기로 유입되며, 재생기에서는 증기 등의 운전열원에 의해 흡수액이 가열되어 흡수액으로부터 냉매증기는 분리되고 흡수액은 농축된다. 재생기에서 발생한 냉매증기는 응축기를 통하는 온수에 냉매증기의 잠열을 빼앗겨 물로 응축되어 증발기로 다시 돌아오고, 재생기에서 농축된 흡수액은 열교환기를 통하여 흡수기로 되돌아옴으로써 냉매의 증발과 흡수가 연속적으로 반복되는 사이클을 형성하게 된다.

3. 회수열원으로서 염색업체의 폐수배출 현황

폐열원인 염색폐수의 업체별 배출량 및 폐수의 온도는 폐수열 회수를 위해 적용하고자 하는 열펌프를 이용한 폐열회수시스템의 적용가능성, 적정규모의 도출 및 시스템 구성 방안을 마련하기 위해 가장 중요하게 파악되어야 할 사항이다. 따라

서 본 고에서는 대구염색공단 1, 2차 단지에 입주해 있는 각 염색업체에서 배출되는 폐수의 월평균 배출량과 폐수온도를 조사하고, 이를 기초로 하여 폐수배출량 분포 및 폐수온도 분포를 정리하였다.

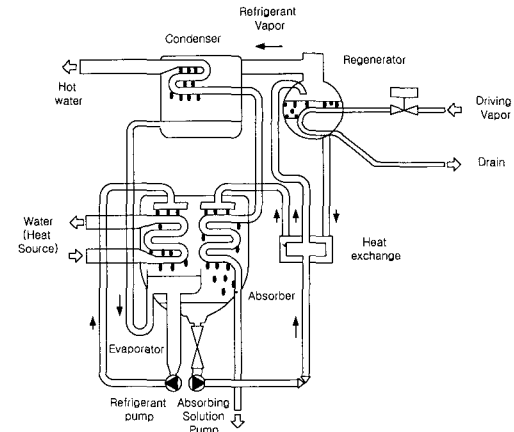


Fig. 2. Operating principle of absorption heat pump.

3.1 업체별 폐수배출량 분포

Fig. 3은 대구염색공단 1, 2차 단지에 입주해 있는 86개 및 20개 염색업체에서 1999년 1~12월 사이에 배출한 월별 폐수배출량 자료를 이용하여 월평균 폐수배출량을 산정하고 이를 폐수배출량별 업체수의 분포로 나타낸 것이다. 폐수배출량 기준으로 보면 비교적 다양한 규모의 업체가 입주해 있는 것을 알 수 있다. 크게 나누어 30,000톤/월 이하의 폐수를 배출하는 업체가 106개 입주업체중 81개(76.4%)로 주종을 이루고 있으며, 각 업체당 평균폐수배출량은 22,630톤/월로 산정되었다<sup>3)</sup>.

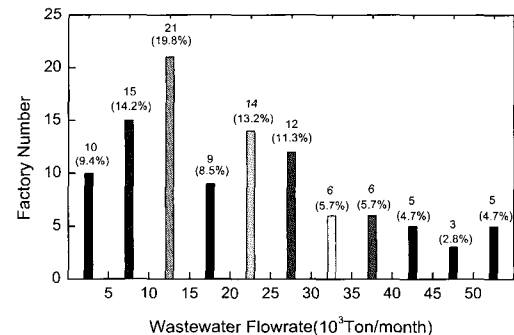


Fig. 3. Distribution of the wastewater quantity discharged from Daegu dyeing industrial complex.

### 3.2 업체별 폐수온도 분포

각 업체에서 배출되는 평균 폐수온도의 분포는 Fig. 4에 나타내었다. 폐수온도는 33~47°C로 비교적 넓은 온도분포를 보이고 있다. 온도 구간을 2°C로 설정하여 폐수온도 분포를 살펴본 결과 40°C를 중심으로 종 모양의 분포도를 보이고 있으며, 전체 입주 업체의 평균폐수온도는 40.3°C로 산정되었다. 염색공단의 각 업체에서 배출되는 폐수는 생물학적 폐수처리설비가 갖춰진 공동폐수장에서 처리되는데 폐수의 온도가 너무 높을 경우 폐수 처리 효율이 낮아 폐수온도에 따라 가중치를 정해 부과금이 산정되기 때문에 각 업체에서는 냉각탑 등을 설치하여 폐수온도를 낮추기 위한 노력을 많이 하고 있다. Fig. 4에 정리한 폐수온도는 각 업체에 설치된 냉각탑을 거친 후의 폐수의 온도이다. 따라서 실제 폐열회수시스템이 적용되는 냉각탑 이전의 폐수온도는 Fig. 2에 정리된 온도보다는 약 5~10°C 정도는 높은 것으로 파악되고 있다. 폐수의 온도는 외기의 온도에 따라 계절적으로도 차이가 있을 수 있는데 대부분의 업체의 폐수저장조가 실내에 있기 때문에 계절적인 폐수 온도차이는 크지 않은 것으로 파악되었다.

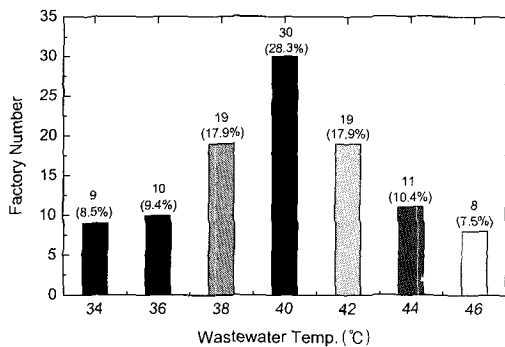


Fig. 4. Distribution of the wastewater temperature discharged from Daegu dyeing industrial complex.

## 4. 회수된 폐수열 수요분석

### 4.1 폐수열 활용방안

폐열회수시스템을 적용해 회수된 폐수열을 효율적으로 활용하기 위한 방안을 설정하기 위해서는 실제 염색업체의 의견을 파악하는 것이 가장 중요하다고 판단되어 설문서를 통해 염색업체의 폐수열 활용방안에 대한 의견을 파악하고 그 결과를

Fig. 5에 정리하였다. 회수된 폐수열의 활용도로는 염색가공공정에서 발생하는 40~50°C의 온수를 재가열하여 온도를 높이는 방안(온수가열), 공업용수의 가열 그리고 스팀생산을 위한 보일러 급수가열의 세가지 용도에 대한 선호도 및 각 활용도에 대해 원하는 온도를 파악하였다. 염색가공공정중에서 주로 에너지를 사용하는 정련, 표백 및 염색공정은 에너지원으로 고압증기를 사용한다. 대구염색산업단지의 1차 단지의 경우는 증기를 열병합발전소에서 공급받는데 비해 2차 단지에 입주한 업체는 자체 보일러를 가동하여 필요한 증기를 생산하고 있기 때문에 단지에 따라 회수된 폐수열의 활용방안에 대한 의견에 차이가 있을 수 있다. 따라서 폐수열 활용방안에 대한 업체의 의견은 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 1, 2차 단지로 구별하여 정리하였다.

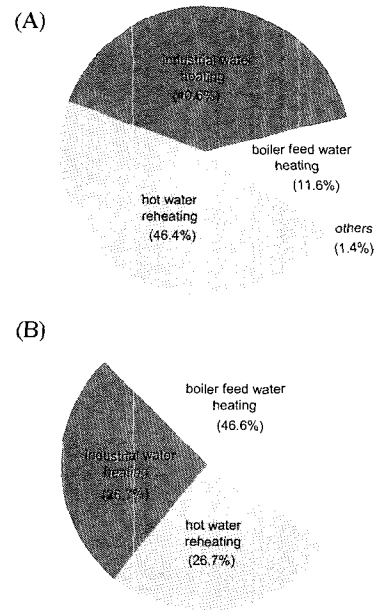


Fig. 5. Desirable use of waste heat recovered from wastewater of (A) 1st and (B) 2nd Daegu dyeing industrial complex.

1차 단지의 경우 온수의 재가열로 이용하자는 의견이 46.4%, 공업용수의 가열로 이용하자는 의견이 40.6% 그리고 보일러 급수예열로 이용하자는 의견이 11.6% 순으로 나타나 온수의 재가열이나 공업용수의 가열로 이용하자는 의견이 대부분이었다. 그러나 대부분의 증기를 열병합발전소에서 공급받고 있음에도 불구하고 증기가 부족하여

자체 보일러를 가동중인 일부 업체에서는 폐수열의 활용방안으로 보일러 급수의 예열을 선호하였다. 이에 비해 2차 단지의 경우에는 보일러 급수 예열로 이용하자는 의견이 46.6%로 가장 많았으며, 온수의 재가열로 이용하자는 의견과 공업용수의 가열로 이용하자는 의견이 각각 26.7%로 같게 나타났다. 2차 단지 업체의 경우 모두 열원인 증기 생산을 위해 자체 보일러를 가동하고 있어 보일러 가동에 사용되는 에너지 비용을 절감하기 위한 방안으로 보일러 급수가열에 대한 선호도가 가장 높은 것으로 판단된다.

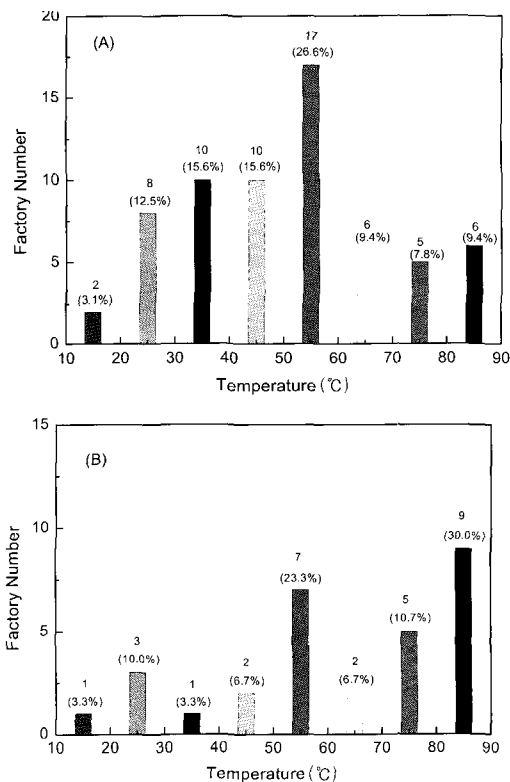


Fig. 6. Desirable heated-up temperature range with recovered heat by using wastewater of (A) 1st and (B) 2nd Daegu dyeing industrial complex.

4.2 폐수열 이용온도

Fig. 6(A)와 6(B)는 각각 1, 2차 단지에서 설문서에 응답한 전체 업체에 대해 폐열회수시 원하는 온도분포를 정리한 것이다. 1차 단지의 경우 50~60℃를 원하는 업체가 가장 많은 것으로 나타났으며, 이어서 20~50℃를 원하는 업체가 많이 분포

하는 것으로 나타났다. 60℃ 이상을 원하는 업체는 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 이는 폐수열의 활용방안에 따라 원하는 온도의 차이를 반영하는 결과로 1차 단지의 경우 선호도가 가장 높은 온수가열시 원하는 온도가 50~70℃에 분포하며, 공업용수의 가열의 경우 50℃ 이하의 온도를 원하기 때문이다. 70℃ 이상을 원하는 업체가 적은 것은 주로 70℃ 이상인 보일러 급수가열에 대한 선호도가 낮기 때문으로 파악되었다. 이에 반해 2차 단지의 경우는 70~90℃를 원하는 업체가 가장 많은 것으로 나타났는데 이는 Fig. 3(B)에 나타낸 바와 같이 회수된 열을 보일러 급수를 예열하는데 활용하고자 하는 의견이 많았기 때문이다. 이어서 50~70℃ 및 50℃ 이하를 원하는 업체가 많은 것으로 확인되었다. 이들 온도범위는 각각 온수의 가열 및 공업용수의 가열시 원하는 온도이다.

회수된 폐수열의 이용방안에 대한 1, 2차 단지 입주업체의 의견을 설문서를 통해 파악한 결과 온수의 재가열이나 공업용수의 가열에 대해서는 이용온도를 50~60℃로 하는 것이 바람직한 방안으로 파악되었다. 그러나 현재의 열펌프 기술로는 40~50℃의 폐수로부터 열을 회수하여 평균 18℃ 정도의 공업용수를 50~60℃로 승온하는 것이나 보일러 급수를 70~80℃ 이상으로 상승시키는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 1, 2차 단지 모두 회수된 폐수열을 이용하여 약 40~50℃인 온수를 50~60℃로 재가열시키는 것이 기술적으로나 업체의 의견을 반영하는 측면에서 가장 바람직한 방안으로 판단된다.

5. 온수 재가열을 위한 폐열회수 시스템의 구성 및 투자비

Fig. 7과 8은 각각 흡수식 및 압축식 열펌프 방식의 폐열회수 시스템과 회수된 폐열을 이용한 온수재가열 시스템의 개략도를 보여주고 있다. 약 40℃의 폐수에서 열을 회수한 후 30℃로 배출하고 압축식 열펌프에 의한 온수재가열 시스템은 회수된 열로 50℃의 온수를 60℃로 가열(ΔT = 10℃)하며, 흡수식 열펌프를 이용한 온수재가열 시스템은 회수된 열로 50℃의 온수를 70℃로 가열(ΔT = 20℃)하는 것으로 시스템을 구성하였다. 폐수는 먼저 열교환기의 안정적 운영을 위해 섬유층 제거장치와 수처리장치에서 정화시키고 폐열회수 열교환기에서 순환수로 열을 회수한다. 순환수는 25℃로 폐열회수 열교환기로 공급된 후 폐수열

을 회수하여 35°C로 가열되고 각각 압축식 열펌프 시스템과 흡수식 열펌프시스템의 증발기로 돌아온다. 압축식 열펌프시스템은 스크류압축기, 응축기, 증발기 및 팽창밸브로 구성되며, 전기가 구동력으로 사용된다. 흡수식 열펌프시스템은 증발기, 흡수기, 응축기 및 재생기로 구성되며, 증기가 구동열원으로 사용된다<sup>6-7)</sup>.

약 500,000kcal/hr(약 150냉동톤)의 열펌프 용량을 가지며 Fig. 7 및 8과 같이 구성되는 흡수식 및 압축식 열펌프를 이용한 온수재가열 시스템의 투자비는 Table 1에 정리된 바와 같이 각각 221,900,000원 및 186,000,000원으로 산정되었다. 주요 구성은 열펌프, 세정설비를 포함한 폐열회수기, 섬유층제거장치 및 수처리장치, 각종 펌프 및 탱크로 이루어졌으며, 투자비에는 자동제어시스템을 포함한 전기공사비 및 배관공사비도 고려되었다.

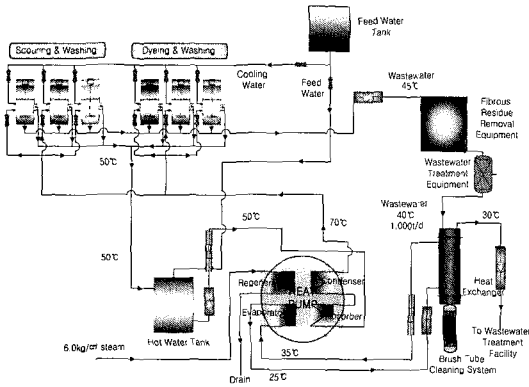


Fig. 7. Schematic diagram of hot water re-heating system using absorption heat pump.

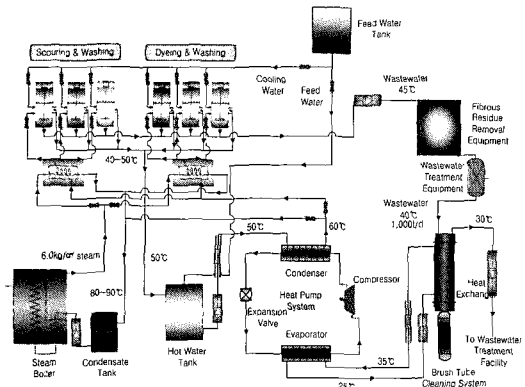


Fig. 8. Schematic diagram of hot water re-heating system using compression heat pump.

## 6. 열펌프에 의한 온수 재가열 시스템의 경제성 분석

### 6.1 경제성 평가를 위한 기본조건

경제성 평가를 위한 기본조건은 Table 2에 정리된 바와 같다. 폐수유량은 1,000톤/일, 공장가동일수를 27일/월로 하였다. 열회수에 의한 에너지 절감비용을 산정하기 위하여 증기의 압력은 6kgf/cm<sup>2</sup>으로 하였으며, 2차 단지 입주업체에서 증기 생산을 위해 가동중인 보일러의 열효율은 82%로 하였다. 폐열회수시스템의 열펌프는 압축식의 경우 성적계수(COP)를 5.5, 압축기 효율은 95%로 설정하였다. 흡수식 열펌프의 경우는 성적계수(COP)를 1.6, 구동열원인 증기의 압력을 6kgf/cm<sup>2</sup>(658kcal/kg)로 설정하였다. 감가상각비 계산을 위한 시스템 내구년수는 10년으로 하였으며, 초기투자비에 대한 이자는 이자율 5%/년으로 하여 산정하였다.

### 6.2 폐열이용 시스템의 경제성 평가 및 투자비 회수기간 산정

경제성 평가결과 1, 2차 단지 염색업체에 압축식 및 흡수식 열펌프에 의한 폐열회수시스템을 설치할 경우의 투자비 회수기간을 Table 3에 정리하였다. 특히 2차 단지의 경우 스티프생산을 위한 보일러의 연료로 B/C유 또는 LNG를 사용하고 있는데 이들 연료의 발열량 기준 연료비에 차이가 있기 때문에 사용연료에 따른 투자비 회수기간을 별도로 산정하였다. 폐열회수시스템 설치에 따라 회수되는 열량을 증기 및 연료의 열량당 가격으로 나누어 증기 및 연료의 절감액을 산정하였고, 비용으로 전기사용에 따른 전력요금과 초기투자비에 대한 감가상각비 및 이자율을 고려한 이자비용을 산정하였다. 투자비 회수기간은 투자비를 비용절감액, 즉 증기 또는 연료절감액에서 전력요금과 초기투자비에 대한 이자비용 그리고 감가상각비를 공제한 값으로 나누어서 계산하였다<sup>2,3,5)</sup>.

1차 단지의 경우 압축식 열펌프의 폐열회수시스템은 열회수에 의한 증기의 절감액이 비용보다 적어 투자가 무의미한 것으로 나타났으며, 흡수식의 경우는 투자비 회수기간이 약 11.25년(135개월)로 나타나 투자가치가 매우 적은 것으로 확인되었다. 압축식과 흡수식의 투자비 회수기간 차이는 압축식이 흡수식에 비해 증기비용 절감액이 다소 많고 투자비가 적어 이자비용과 감가상각비는 적지만 압축기 가동에 따른 전력요금이 흡수식에 비해

**Table 1.** Estimation of initial investment for waste heat recovery system using heat pump

Items	Absorption Heat Pump		Vapor Compression Heat Pump	
	Specifications	Material and Labor Cost ( $\times 10^3$ ₩)	Specifications	Material and Labor Cost ( $\times 10^3$ ₩)
Heat Pump	1,120,000kcal/hr	100,000	500,000kcal/hr	60,000
Heat Exchanger	500,000kcal/hr	33,800	500,000kcal/hr	33,800
Cleaning System	-	12,000	-	12,000
Hot Water Tank	20ton(FRP)	4,000	20ton(FRP)	4,000
Fibrous Residue Removal Equipment	-	10,000	-	10,000
Wastewater Treatment Equipment	-	5,000	-	5,000
Hot Water Circulation Pump	927LPM $\times$ 30M $\times$ 11kW	2 $\times$ 1,100	808LPM $\times$ 30M $\times$ 11kW	2 $\times$ 1,100
Condensate Pump	22LPM $\times$ 30M $\times$ 2.2kW	2 $\times$ 450	-	-
Water Circulation Pump	834LPM $\times$ 20M $\times$ 7.5kW	2 $\times$ 950	834LPM $\times$ 20M $\times$ 7.5kW	2 $\times$ 950
Wastewater Supply Pump	6954LPM $\times$ 40M $\times$ 15kW	2 $\times$ 900	695LPM $\times$ 40M $\times$ 15kW	2 $\times$ 900
Wastewater Drain Pump	695LPM $\times$ 20M $\times$ 11kW	2 $\times$ 850	695LPM $\times$ 20M $\times$ 11kW	2 $\times$ 850
Expansion Tank	-	600	-	600
Plumbing Work	-	35,000	-	35,000
Automatic Control	-	5,000	-	6,000
Electric Work	-	8,000	-	12,000
Total	-	221,900	-	186,000

**Table 2.** Basic conditions for the evaluation of economic profitability

Items	Conditions		
Basic Conditions	-Wastewater flowrate=1,000ton/day -Decrease of wastewater temperature by heat recovery=10°C -Working days=27days/month		
Energy Conditions and Cost	-Electric power rate=55.76₩/kWh (Basic charge=4,920₩/kWh) -Steam enthalpy=658kcal/kg (pressure=6kgf/cm <sup>2</sup> ) -Steam cost=12,019₩/ton -B/C oil : heating value=9,900kcal/l : cost=300.52₩/l -LNG : heating value=11,000kcal/Nm <sup>3</sup> : cost=463₩/Nm <sup>3</sup> (as of 2000. 6. 1) -Boiler efficiency=82%		
Heat Pump System		Absorption	Vapor Compression type
	-Hot water heating up -COP -Driving energy -Driving energy consumption -Service year	50 $\rightarrow$ 70( $\Delta T=20^\circ C$ ) 1.6 Steam 695,000kcal/h 10	50 $\rightarrow$ 60( $\Delta T=20^\circ C$ ) 5.5 Electric power 91,720kcal/h (106.6kW) 10

**Table 3.** Evaluation of economic profitability and payout period for waste heat recovery system using heat pump

Dyeing Industrial Complex	Heat Pump Type	Used Energy	Profitability Evaluation				Payout Period (year/month)
			Energy Saving(A) ( $\times 10^3$ W/month)	Electricity Expense(B) ( $\times 10^3$ W/month)	Monthly Charge of Interest and Depreciation for Initial Investment ( $\times 10^3$ W/month)	Profit (A-B-C) ( $\times 10^3$ W/month)	
#1	Vapor Compression	Steam	6,564	5,197	2,325	-959	-
#2	Absorption	Steam	5,524	1,108	2,774	1,642	11.25/135
	Vapor Compression	B/C	12,090	5,197	2,325	4,568	3.39/41
		LNG	16,764	5,197	2,325	9,242	1.68/20
	Absorption	B/C	10,003	1,108	2,774	6,121	3.02/36
LNG		13,871	1,108	2,774	9,988	1.85/22	

약 5배로 큰 것에 기인한다. 이해 비해 2차 단지는 압축식, 흡수식 모두 1차 단지에 비해 투자비 회수기간이 짧아 경제성이 더 우수한 것으로 산정되었다. 이는 2차 단지의 경우 열병합발전소에서 증기를 공급받지 않고 자체 보일러를 가동하여 증기를 생산하고 있는데 연료인 B/C유와 LNG 비용이 높아 에너지절감에 따른 연료비용의 절감이 1차 단지에 비해 크기 때문이다. 2차 단지의 경우는 폐열회수 방식뿐만 아니라 연료의 종류에 따라 투자비 회수기간이 달라지는데 압축식의 경우는 연료로 B/C유와 LNG를 사용할 경우 투자비 회수기간은 각각 3.39년(41개월)과 1.68년(20개월)으로 LNG를 연료로 사용하는 경우가 B/C유를 연료로 사용하는 경우보다 경제성이 높다. 이는 동일한 폐열회수 방식이기 때문에 전력요금과 투자비에 따른 이자비용과 감가상각비는 동일하지만 LNG가 B/C유에 비해 발열량 대비 연료비가 1.4배 정도 비싸 열회수에 따른 연료비용 절감액이 크기 때문이다.

같은 이유로 흡수식 열펌프의 폐열회수 방식의 경우도 연료로 B/C유와 LNG를 사용할 경우 투자비 회수기간은 각각 3.02년(36개월)과 1.85년(22개월)으로 LNG를 연료로 사용하는 경우가 B/C유를 연료로 사용하는 경우보다 경제성이 우수하다. 동일한 연료에 대해 비교하면 B/C유를 연료로 사용하는 업체는 압축식과 흡수식을 적용할 경우 투자비 회수기간이 각각 3.39년(41개월)과 3.02년(36개월)로 흡수식이 압축식 폐열회수시스템에 비해 투자비 회수기간이 다소 짧아 경제성이 더 우수한

것으로 나타났다. 이에 비해 LNG를 연료로 사용하는 업체는 압축식과 흡수식을 적용할 경우 투자비 회수기간은 각각 1.68년(20개월)과 1.85년(22개월)으로 오히려 압축식이 흡수식 폐열회수시스템에 비해 투자비 회수기간이 짧아 경제성이 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 연료의 종류에 관계없이 압축식과 흡수식의 전력요금과 초기투자비에 대한 이차율과 감가상각비의 차이는 동일 하지만 LNG 가격이 B/C유의 가격보다 비싸 2가지 폐열회수 방식을 비교하면 LNG를 사용하는 경우 압축식과 흡수식 폐열회수 방식을 적용했을 경우의 연료비 절감액의 차이가 커지기 때문이다.

결론적으로 압축식, 흡수식 폐열회수 시스템 모두 2차 단지 염색업체에 적용할 경우가 1차 단지 염색업체에 적용할 경우보다 경제성이 우수한 것으로 확인되었으며 특히, 2차 단지 염색업체중 증기생산을 위한 보일러 연료로 LNG를 사용하는 업체에 압축식 폐열회수시스템을 적용할 경우가 투자비 회수기간이 1.68년(20개월)으로 가장 짧아 경제성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

## 7. 결 론

본 고에서는 염색가공업체의 폐수열을 회수하기 위한 방법의 하나로 열펌프를 이용한 폐수열 회수 시스템의 기술적, 경제적인 타당성을 검토하였다. 폐열원인 폐수의 특성으로는 30,000톤/월 이하의 폐수를 배출하는 업체가 106개 입주업체중 81개(76.4%)로 주종을 이루고 있으며, 각 업체당 평균



폐수배출량은 22,630톤/월로 산정되었다. 폐수온도는 33~47°C로 비교적 넓은 온도분포를 보이고 있으며, 전체 입주업체의 평균폐수온도는 40.3°C로 산정되었다. 설문서를 통해 파악된 염색업체의 의견과 현재의 열펌프 기술의 적용성을 고려할 때 회수된 폐수열을 이용하여 약 40~50°C인 온수를 가열하여 10~20°C 승온시키는 것이 가장 바람직한 폐수열의 활용방안으로 판단된다. 500,000 kcal/hr의 용량을 갖는 열펌프방식의 폐열회수시스템 설치에 대한 투자비 회수기간 산정결과 1차 단지의 경우 열펌프 방식에 따라 투자비 회수기간이 약 11년 이상으로 투자가치가 매우 적거나 투자효과가 없는 것으로 파악되었다. 이해 비해 열병합발전소에서 증기를 공급받지 않고 자체 보일러를 가동하여 증기를 생산하고 있는 2차 단지는 연료인 B/C유와 LNG 비용이 높아 폐열회수시스템 설치에 대한 투자비 회수기간이 짧아 경제성이 더 우수한 것으로 산정되었다. 2차 단지의 경우는 폐열회수시스템의 투자비 회수기간은 폐열회수 방식과 연료의 종류에 크게 의존하는 것으로 확인되었고, 증기생산을 위한 보일러 연료로 LNG를 사용하는 업체에 압축식 폐열회수시스템을 적용할 경우가 투자비 회수기간이 1.68년으로 가장 짧아 경제성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 열펌프시

스템에 의한 염색폐수열의 회수기술은 기술적으로 적용이 가능할 뿐만 아니라 경제성이 충분한 기술로 확인되었다. 따라서 본 열펌프에 의한 폐열회수 기술은 염색가공업계에서 에너지 절약 방안의 하나로 적극 검토할 수 있는 기술의 하나라고 판단된다.

### 참고문헌

1. 박준택 외 10인, 미활용에너지 실태조사 및 이용방안 연구, 대구광역시, (1998).
2. 벽산개발주식회사, "剩餘 廢熱利用 妥當性檢討 (大邱染色工團)", 에너지관리공단, (1995).
3. 박준택 외 12인, "염색폐수열 이용사업 타당성조사", 대구광역시, (2000).
4. 에너지관리공단, "산업체 에너지절약기술 실태조사결과", 에너지관리공단, (1991).
5. 신현준 외 7인, "하수열원 열펌프시스템 개발에 관한 최종보고서", 통상산업부, (1997).
6. 高田 秋一, "工業用 ヒートポンプ", 省エネルギーセンター(日本), (1984).
7. 大野 弘外, "染色加工プロセスのエネルギーに及ぼす消費水溫影響", 纖維機械學會誌(日本), 38(1), 173(1983).