

염색폐수 열회수를 위한 열펌프시스템 적용 연구

장기찬, 박성룡, 이영수, 이상남, 라호상, 박준택
한국에너지기술연구원 미활용에너지연구팀

A Study on the Application of Heat Pump System for Heat Recovery in Dyeing Wastewater

K.C. Chang, S.Y. Park, Y.S. Lee, S.N. Lee, H.S. Ra, J.T. Park
Unutilized Energy Research Team, KIER

1. 서론

염색산업은 공정특성상 다량의 증기와 고온수가 필요한 에너지 다소비 산업으로 원가절감에 의한 경쟁력 향상을 위해서는 에너지사용량 절감을 위한 노력이 절실히 요구되는 산업이다. 염색가공공정은 정련, 감량 등 처리공정을 통해 조업, 생산하고 있는데, 이 공정과정에서 다량의 폐수가 발생되고 있으며, 배출된 폐수는 각 공장의 저류조에 집수되어 공동폐수처리장으로 방류된다. 염색가공공정은 각 업종마다 처리공정이 다르고 각 공정에 따라서 폐수의 양, 수질 및 수온이 다르게 배출되고 있으나 저류조에서의 폐수배출온도는 연평균 약 40℃ 정도이며, 대구염색산업단지의 경우 폐수배출량도 연간 2.9×10^7 톤으로서 막대한 양이 버려지고 있는 실정이다^{1,2)}.

염색가공공정은 에너지 다소비형이며, 염색조업을 수행하는 과정에서 상온보다 약 20℃ 이상 높은 폐수가 다량으로 발생하고 있지만 대부분의 업체에서 폐수가 갖는 열에너지는 미활용되고 있고, 방류시 폐수온도가 40℃를 초과할 때에는 업체에서 부과금을 지불해야 하는 실정이므로 공동폐수처리장으로 방류하기 전에 강제 냉각시키고 있다. 따라서 염색업체 별로 열펌프(Heat Pump) 등과 같은 열회수장치를 설치하여 발생하는 저온폐수열을 회수하여 공정용 온수나 급수가열 등으로 활용하면 연료사용량을 절약하고 강제 냉각비용 또는 고온 부과금 부담도 없게 되며, 이산화탄소 배출량 감소로 환경보전에도 기여할 수 있다.

산업체에서 배출하고 있는 고온의 폐수열에 대한 열회수는 구조가 간단한 폐열회수 열교환기를 사용하여 회수할 수가 있지만 50℃ 이하의 폐수에 대한 열회수는 기계적인 구동장치, 즉 열펌프시스템을 이용하여야만 가능하다. 그러나 세계적으로 그동안 산업체에 적용할 열펌프시스템의 보급이 매우 부진한 이유는 원유가격의 하락으로 생산제품의 가격에서 에너지의 경제성에 대한 중요성을 감소시켰고, CO₂배출계수가 높은 저급의 유류를 사용하여 전기료에 비해 화석연료의 가격이 매우 낮게 책정되었다. 따라서 전기구동 열펌프의 관리수익성을 의미하는 COP는 매우 높아졌다. 또 하나의 보급장애는 수백kW인 크기에 있어서나 산업공정의 특별한 수요를 위해서나 모두 각각의 적용목적에 대해 일반적으로 설계 및 실행된 시설과 장치의 비규격화에 있다. 이것은 설계자와 설치자의 경험에 따라 신뢰성문제를 발생시킬 수도 있고, 더우기 무엇보다도 산업체에서 수용가능한 투자비의 단기회수기간을 고려하면 통상적으로 설치비용을 높게 하는 결과를 가져오게 된다는 것이다³⁾.

이와 같은 장애에도 불구하고 최근의 적용사례를 보면 단지 에너지절약용이 산업용 열펌

프를 선택하는 주요 이유가 아니라는 것을 알 수 있게 된다. 즉, 그것은 공정의 제어를 좋게 할 수 있고, 배출물의 오염감소, 폐열의 온도저감, 또는 냉각수이용의 절감 등이 가능하기 때문에 에너지절약이라는 주목적으로서가 아니라 부가적인 경제적 이득이 명백히 발생하므로 열펌프에 대한 적용가능성이 높아지고 있다⁴⁾. 또한, 최근에는 세계시장의 유가가 매우 불안정하게 움직이고 있고 고유가시대에 접어들고 있어서 에너지의 절약이 매우 시급한 문제이며, 온실가스저감에 대한 국제적인 관심이 높아지기 때문에 산업체에서도 CO₂배출계수가 낮은 고급의 천연가스를 사용하는 경우가 늘고 있어서 에너지의 비용을 줄이기 위해 버려지고 있는 폐열회수이용에 많은 관심을 가지고 있다.

염색산업단지에서도 염색폐수열을 회수하여 이용하고자 많은 노력을 기울여 오고 있지만 염색폐수의 특성상 폐열회수시스템의 내구성과 성능을 확보할 수 있는 기술개발이 아직까지 이루어져 있지 않아서 대부분의 업체에서는 염색폐수열을 대기중으로 방출하고 있는 실정이다. 염색폐수열을 회수하여 유용하게 이용하기 위해서는 염색폐수열을 직접 회수할 수 있는 열교환기의 재질선정과 고형물제거 및 열교환기 세정장치가 필요하고, 40℃ 정도의 저온폐수를 이용해서 60℃ 정도의 온수를 생산할 수 있는 열펌프시스템의 적용기술을 확보하여 보급할 수 있는 기반을 마련할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 염색폐수열을 회수할 수 있는 열펌프시스템의 적용기술을 분석하기 위해서 염색공장에서 배출되고 있는 폐수의 온도와 유량 등에 대한 조사와 이를 회수하기 위한 압축식 열펌프시스템의 구동열원에 따른 운전비용을 검토하여 적용에 대한 타당성을 고찰하고자 하였다.

2. 염색가공공정 분석 및 열원단위 산정

염색가공공정별 에너지원단위 산정은 에너지 관점에서 각 공정의 비중 및 염색가공공정의 에너지 소비형태를 파악하는데 중요한 역할을 한다. 직물의 종류에 따라 염색가공공정의 구성 및 각 단위공정에서의 에너지 소비형태도 다르기 때문에 대표적인 염색직물별 공정인 폴리에스테르, Nylon, 교직물(T/C, T/R) 및 교직물(N/C) 염색가공공정의 열원단위를 살펴보고자 한다.^{5,6,7)}

직물별, 공정별 특징을 고려하여 산정된 각 공정별 용수, 온수의 사용량 및 열원단위는 Table 1에 나타난 바와 같이 정련 및 수세과정에서는 폴리에스테르가 가장 많은 열량이 소요되는데, 이는 폴리에스테르가 다른 직물에 비해 수세온도가 높을 뿐만 아니라 수세 수량도 많기 때문이다. 염색과정에서 소용되는 열량은 T/C, T/R 교직물이 가장 많은 것으로 산정되었는데, 이는 이들 교직물이 염색온도가 가장 높은 폴리에스테르 염색과 더불어 면과 레이온에 대한 2차염색 및 소핑과정이 추가되기 때문이다. N/C 교직물의 경우는 면과 나일론에 대해 2차염색을 실시하지만 면의 염색은 상온에서 실시되고 나일론의 염색은 폴리에스테르에 비해 낮은 온도에서 염색이 이루어지기 때문에 폴리에스테르 염색에 비해 작은 열량이 소요된다. 그러나 폴리에스테르의 염색 후에는 염색수의 열량을 일부 회수하기 때문에 회수열량을 고려하면 폴리에스테르 염색에 비해 N/C교직물의 염색이 더 많은 열량이 소요되는 것으로 파악되었다.

정련, 수세과정 및 염색과정에서 소요되는 모든 열량을 고려하면 T/C, T/R 교직물>폴리에스테르>Nylon>N/C 교직물의 순으로 평균소요열량이 높은 것으로 파악되었다. 그러나 폴리에스테르 염색과정에는 정련, 수세 후 감량과정에서 열매체유에 의해 공기를 가열하여 감량을 하고, 또한 이 과정에서 증기가 직접 사용되는 것을 고려하면 실제 폴리에스테르의 염색과정에서 소요되는 총열량은 Table 1에 정리된 것보다 높을 것이다. 감량과정에서 소요되

는 열량은 직접 공업용수나 온수가열에 사용되는 것이 아니기 때문에 본 조사에서는 제외하였다.

표에 정리된 직물별 열원단위는 각 공정에 대한 표준방식 또는 일반적으로 적용되는 공정 특성에 기초하여 산정된 열원단위이기 때문에 업체별로 동일직물이라 하더라도 실제 운전조건의 차이에 따라 열원단위는 다소 차이가 있을 수가 있다. 열원단위 산정결과 상대적으로 에너지 사용량이 많은 T/C, T/R 교직물 업체나 폴리에스테르 염색업체가 폐수열회수 대상 업체로서 타당한 것으로 판단된다.

Table 1 Energy input unit depending on dyeing clothes and process

직 물	공정별 수량 및 소요열량						평균열원 단위 (kcal/yd)	
	정련, 수세			염 색				
	수량 (kg/yd)	공급열량 (kcal/yd)	회수열량 (kcal/yd)	수량 (kg/yd)	공급열량 (kcal/yd)	회수열량 (kcal/yd)		
Polyester	4	240~280	120~200	1.33~1.67	150.3~203.7	66.5~117	185.0	
Nylon	0.875~1.125	23.2~35.5	-	1.2~1.4	87.6~121.8	-	163.4	
교 직 물	T/C, T/R	1.33~1.67	40~83.5	-	1.33~1.67	150.3~203.7 (1차) 57.2~120.2 (2차) 39.9~66.8 (3차)	66.5~117	289.1
	N/C	0.875~1.125	23.2~35.5	-	1.33~1.67	97.1~145.3	-	150.1

3. 염색공장 배출 폐수의 특성

3.1 업체별, 계절별 폐수배출량 및 온도

폐열원인 염색폐수의 배출량 및 폐수의 온도는 폐열회수를 위해 적용하고자 하는 열펌프를 이용한 폐열회수시스템의 적용가능성, 적정 규모의 도출 및 시스템 구성 방안을 마련하기 위해 가장 먼저 검토되어야 할 사항이다. 따라서 염색업체에서 배출되는 폐수의 계절별 평균 배출량과 온도를 조사하고 이를 기초로 하여 폐수배출량 및 온도분포를 분석하였으며, 또한 염색업체의 생산품목을 폴리에스테르, 나일론, 교직물, 사염 및 나염 등으로 분류하여 각 업종별로 계절별 평균 폐수배출량과 폐수온도를 분석하였다.

3.1.1 폐수배출량

Fig. 1은 염색업체의 월별 폐수배출량 분포를 나타낸 것으로서 20개 입주업체중 20,000톤/월 이하, 20,000~30,000톤/월 및 30,000톤/월 이상의 업체가 각각 8개(40.0%), 9개(45%) 및 3개(15%)로 나타났다. 10,000톤/월 이하의 폐수를 배출하는 소형업체의 비율도 20%이며, 40,000톤/월 이상의 폐수를 배출하는 대형업체는 없는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 2는 염색업체의 생산품목별, 계절별 평균 폐수배출량을 보여주고 있다. 동일한 생산품목의 경우 계절별 평균 폐수배출량에서 큰 차이가 없지만 생산품목별로는 큰 차이가 나타남을 알 수 있으며, 교직물>면>폴리에스테르>날염>나일론의 순으로 폐수 배출량이 많았다.

3.1.2 폐수온도

Fig. 3은 염색업체의 연평균 폐수온도의 분포를 나타내었다. 온도범위 33~47℃에 대해

2℃로 구간을 설정하여 폐수온도분포를 살펴본 결과 39~41℃를 중심으로 종 모양의 분포도를 보이고 있으나 큰 차이는 나타내고 있지 않다. 또한, Fig. 4는 생산품목별로 구분하여 생산품목별, 계절별 평균폐수온도를 나타내었다. 여름철의 폐수온도가 가장 높고 겨울철의 폐수온도가 가장 낮게 나타났는데, 이는 계절에 따른 외기 온도의 차이에 따른 현상이다. 생산품목별로는 면과 나일론 염색업체의 폐수온도가 높았으며, 폴리에스테르, 교직물, 날염 업체의 폐수온도가 약간 낮게 나타났다. 특히, 면 염색업체는 계절별 평균폐수온도가 50℃ 이상으로 가장 높게 나타났다.

폐수온도에 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 예상되는 염색온도를 품목별로 살펴보면 폴리에스테르가 130℃ 정도, 나일론이 90~95℃, 면이 40~50℃로 폴리에스테르의 염색온도가 가장 높고 면의 염색온도가 가장 낮는데도 불구하고 오히려 면과 나일론 염색업체의 폐수온도가 높은 것은 염색온도의 영향 외의 다른 요인의 영향이 크기 때문으로 판단된다. 폴리에스테르의 염색온도가 가장 높기는 하나 대부분의 업체에서 염색폐수의 열을 회수하고 있는데 반해 나일론과 면의 경우는 폐열을 회수하지 않고 있어 비록 염색온도가 차이가 있더라도 실제 폐수의 온도는 다를 수가 있다. 특히 염색 후 수세과정에서도 수세수를 Overflow시킬 때 사용하는 Overflow 수량의 차이에 의해서도 생산품목에 상관없이 업체별로 폐수의 온도 차이가 있을 수 있다.

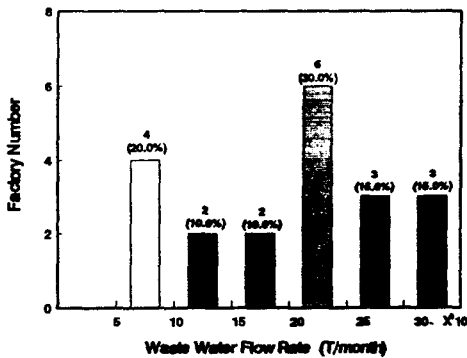


Fig. 1 Distribution of waste water quantities generated in dyeing factory

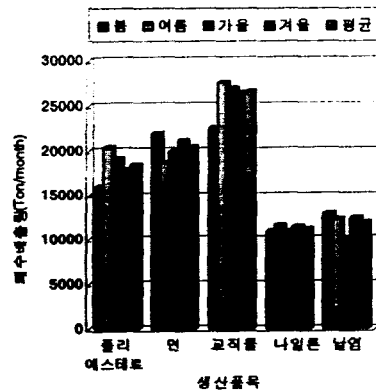


Fig. 2 Average waste water quantities depending on products and season

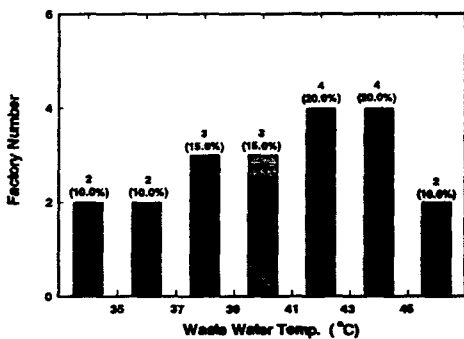


Fig. 3 Distribution of waste water temperature generated in dyeing factory

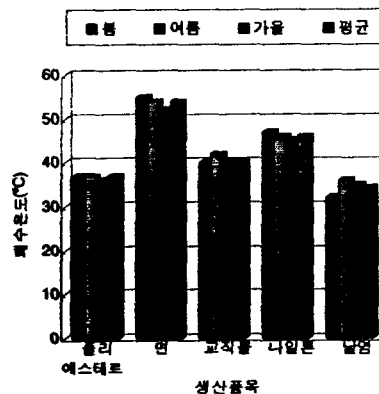


Fig. 4 Average waste water temperature depending on products and season

3.2 업종별 폐수 성상

염색폐수의 수질은 폐열회수시스템을 구성하는 열교환기 전단에 폐수처리장치 설치 필요 유·무 및 기계류, 배관류, 펌프류의 재질을 선정하는 기준을 확보하기 위해 검토되어야 한다. 고려된 폐수수질 항목은 알칼리도, COD, BOD 및 SS로 이들 항목은 각 업체의 폐수처리 부담금을 부과하기 위해 관리공단에서 측정하는 항목이다.

Fig. 5는 알칼리도를 보여주고 있으며, 면의 염색폐수가 1,286 mg/l로 가장 높고, 이어서 폴리에스테르와 교직물의 염색폐수의 알칼리도가 각각 788, 562 mg/l로 나타났다. 나일론과 날염 염색폐수의 알칼리도는 각각 309, 481 mg/l로 낮게 나타났다. Fig. 6은 COD를 보여 주는 것으로 폴리에스테르와 교직물의 염색폐수의 COD가 각각 782, 562 mg/l로 비교적 낮은 값을 보였다. Fig. 7은 BOD를 보여주는 것으로 폴리에스테르 염색폐수의 BOD가 1,228 mg/l로 가장 높게 나타났으며, 나머지 품목은 교직물, 나일론, 날염 염색폐수의 순으로 BOD가 높았다. 폐수중의 SS는 열교환기나 배관에 침적물로 쌓여 부식을 일으키거나 열교환기의 경우 열전달 효율을 저하시키는 원인이 될 수 있기 때문에 폐수 성상으로 가장 중요하게 고려되어야 할 항목으로 판단된다. Fig. 8은 SS를 보여 주는 것으로 폴리에스테르의 염색폐수가 다른 품목에 비해 낮은 값을 보이고 있으며, SS의 경우는 다른 수질항목과는 달리 날염 염색폐수가 다른 품목에 비해 높은 값을 보이고 있다.

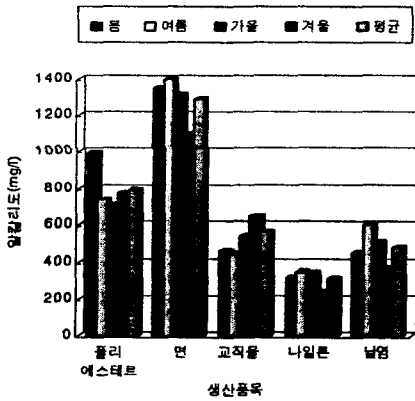


Fig. 5 Alkalinity of waste water depending on products and season

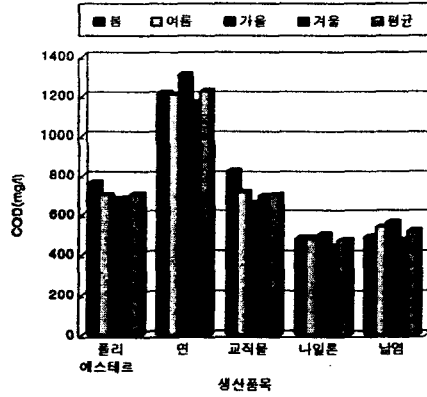


Fig. 6 COD of waste water depending on products and season

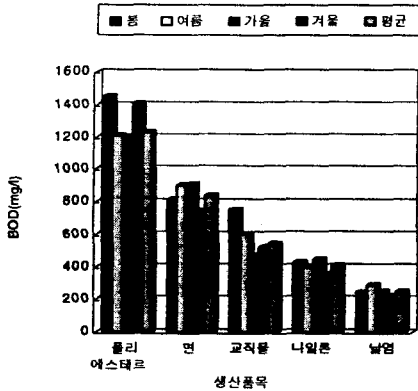


Fig. 7 BOD of waste water depending on products and season

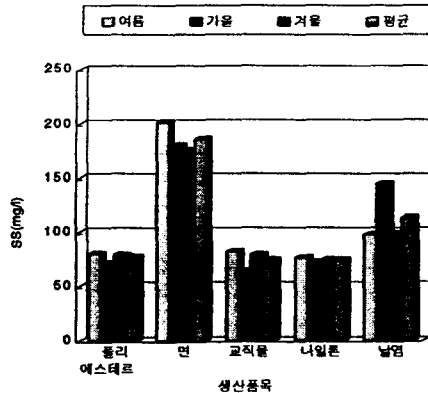


Fig. 8 SS of waste water depending on products and season

이상과 같이 살펴본 염색폐수의 성상을 요약하면 수질항목별로는 특히 배관 침적, 폐쇄 등으로 폐열회수시스템의 안정적 운전이나 열교환기의 성능에 악영향을 끼칠 수 있는 SS의 경우 폴리에스테르 염색폐수가 가장 낮아 폴리에스테르 염색폐수가 폐열회수에 가장 유리할 것으로 판단된다. 그러나 폐열회수시스템에 폐수처리설비 설치의 필요성이나 적절한 재질 선정을 위해서는 여기에서 검토된 수질항목인 알칼리도, COD, BOD, SS 외에도 부식을 유발시키는 원인물질인 황산이온, 염산이온 및 이들 성분들의 함량에 간접적인 지표인 전도도 등에 대한 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

4. 염색폐수 열회수시스템 적용기술 분석

4.1 구동열원에 따른 압축식 열펌프시스템

압축식 열펌프의 기본적인 구성은 증발기라 일컫는 열교환기내에는 작동매체액이 존재하고 있어 열원으로부터 열을 흡수하여 냉매액이 증발한다. 이것을 압축기로 압축하여 응축기라 일컫는 열교환기로 보내어 고온상태로 냉매를 액화시키고, 이 과정에서 방출시킨 열을 가열의 목적으로 이용한다. 액화한 냉매는 감압을 위한 팽창밸브를 통과한 후 다시 증발기로 들어가서 사이클을 완성하게 된다. 이 열펌프는 증발기, 압축기, 응축기 및 팽창밸브의 기본적인 요소로 구성되어 있으며, 작동매체나 압축기 구동용의 원동기를 포함시켜서 열펌프의 기능을 발휘할 수 있게 된다.

압축기의 구동용으로는 일반적으로 Fig. 9와 같이 전기구동 열펌프(Electric Heat Pump,

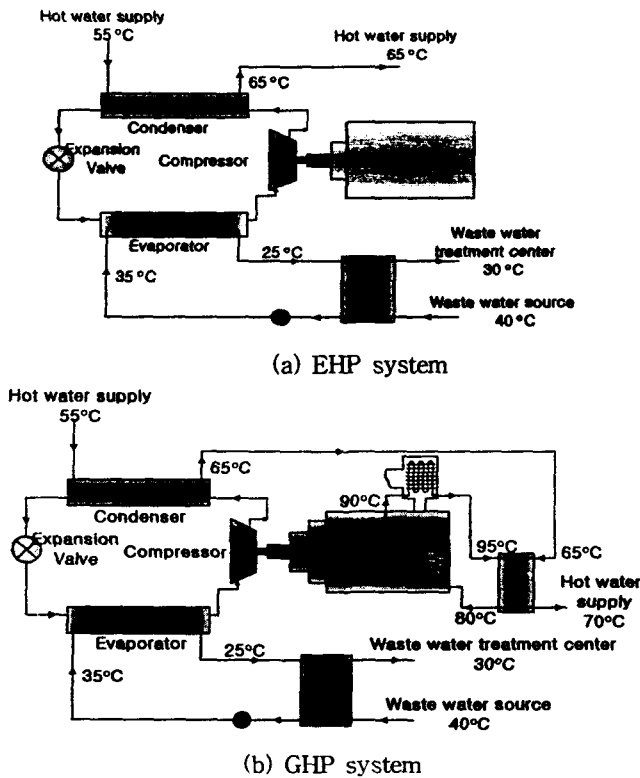
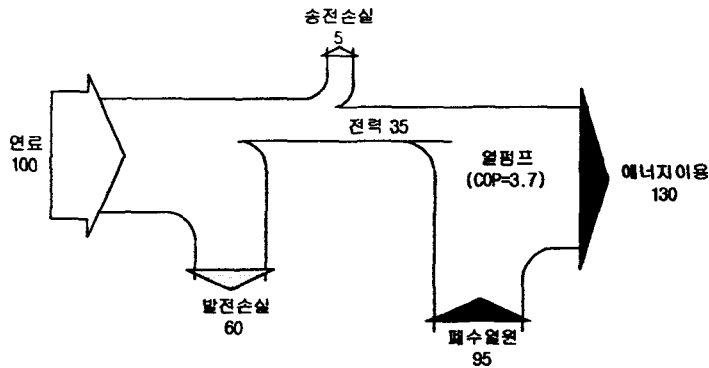


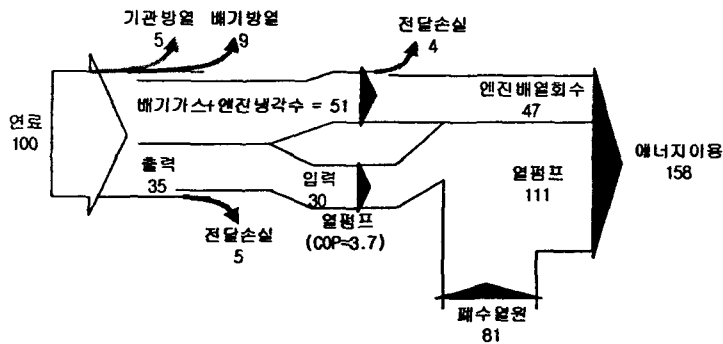
Fig. 9 Heat pump system

EHP)와 가스엔진구동 열펌프(Gas Engine Driven Heat Pump, GHP)가 많이 사용되고 있다. 가스엔진구동 열펌프는 냉매를 압축하기 위한 압축기를 구동하는 전기식 모터 대신 가스엔진으로 구동하는 열펌프 시스템으로서 작동원리는 압축기를 가스엔진으로 구동하는 것을 제외하고는 전기구동 압축식 열펌프의 작동원리와 거의 같다. 가스엔진의 배열은 배기가스열과 엔진자켓내의 냉각수의 열이 있으며, 이의 열을 열펌프에 의해서 승온된 온수를 더 높은 온도로 승온시킬 수 있도록 하는 것이다. 이와 같이 가스엔진구동 열펌프는 천연가스나 LPG 등 1차에너지를 직접 이용할 수 있어서 계약전력의 감소, 난방능력의 증대 등의 장점을 가지고 있으며, 천연가스의 이용촉진과 여름철 피크 전력억제 등 국가 에너지 정책상 개발이 기대된다. 특히, 엔진의 냉각수 배열과 배기가스열을 회수이용할 수가 있어서 전체 효율을 향상시킬 수 있으며, 엔진의 회전수를 제어하여 부하특성을 대응함으로써 부분부하 특성을 개선할 수 있다.

Fig. 10은 가스엔진구동 열펌프와 전기구동 열펌프의 에너지 이용효율을 비교하여 나타낸 것으로서 전기구동 열펌프의 1차에너지 이용효율(PER)이 130%인데 비하여 가스엔진구동 열펌프는 가스엔진의 배열을 이용할 수가 있기 때문에 1차에너지 이용효율을 158%까지 올릴 수가 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 전기구동 열펌프에서 온수온도를 65℃까지 승온시킬 수가 있지만 가스엔진구동 열펌프에서는 65℃까지 승온된 온수를 엔진배열 열교환기를 거쳐 함으로써 70℃까지 승온시킬 수가 있다.



(a) EHP system



(b) GHP system

Fig. 10 Primary energy efficiency of heat pump system

4.2 염색폐수 열회수시스템 구성

Fig. 11은 압축식 열펌프시스템을 이용한 온수제가열 시스템의 개략도를 나타내고 있다. 약 40℃의 염색폐수에서 폐열회수 열교환기로부터 열을 회수한 후 약 30℃ 정도의 폐수로 배출하고, 이 열을 열원으로 하여 압축식 열펌프에 의한 온수제가열 시스템은 회수된 열로 55℃의 온수를 65℃로 가열($\Delta T=10℃$)하도록 하며, 엔진구동 열펌프시스템에서는 엔진배열을 회수하여 온수출구온도를 70℃로 가열($\Delta T=20℃$)하는 것으로 시스템을 구성할 수가 있다.

폐수는 먼저 폐열회수 열교환기의 막힘과 전열면의 오염을 방지하기 위하여 섬유층 제거 장치 및 열교환기 세정장치로 폐열회수 열교환기의 성능 및 내구성을 향상시키고, 1차로 폐열회수 열교환기와 열펌프의 증발기를 흐르는 순환수로 열을 회수한 것이 열펌프의 열원으로 되어 증발기에서 냉매가 열을 흡수하여 증발하고 압축에 의해 고온의 증기로 만들어서 응축기로 전달시켜 냉매의 응축과정에서 발생하는 잠열을 이용하여 온수를 가열하는 것이다. 따라서 압축식 열펌프시스템은 스크류압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기로 구성되며 압축기의 구동은 전기모터 또는 가스엔진을 사용하게 된다.

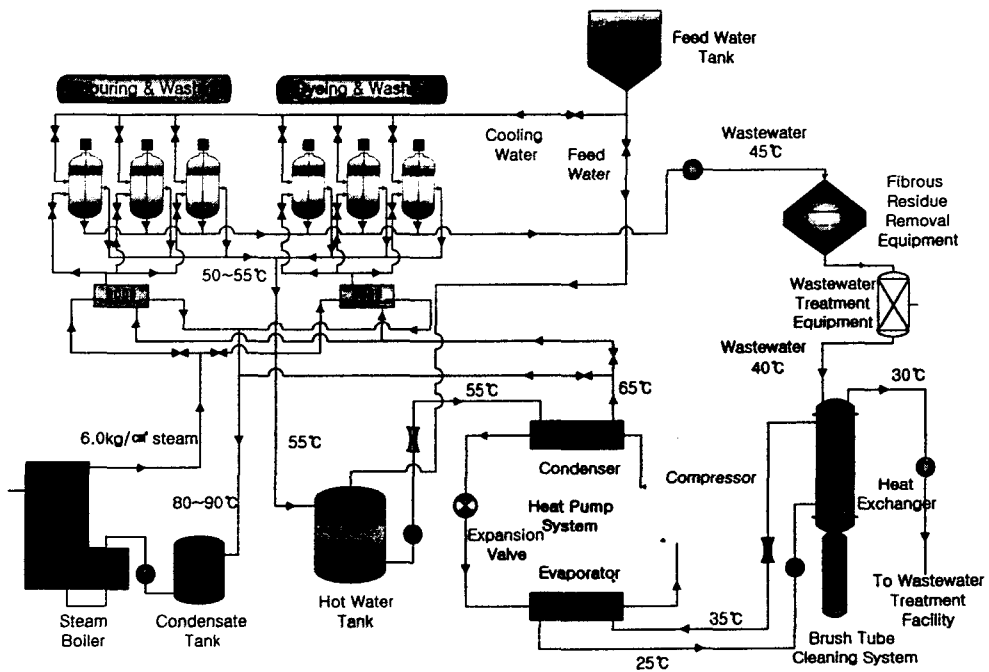


Fig. 11 Schematic of hot water making system by vapor compression heat pump

4.3 구동열원에 따른 운전비 비교

염색폐수열을 회수하기 위한 폐열회수장치로 열펌프의 구동열원을 전기와 가스엔진으로 하였을 때 기존 LNG보일러 대비 운전비용의 절감액을 비교해보면 다음과 같다.

1) 기준조건

- 공장가동 : 24 시간/일, 27일/월, 324일/년 가동
- 전기요금 : 산업용 병(1,000kW 이상), 선택 II, 고압 A 기준
 - 기본요금 : 5,170원/kW
 - 전력량요금 : 49.76원/kWh(부가세 별도)
- > 계절별, 부하별, 시간대별 고려 년중평균치

- LNG(도시가스) -> 대구도시가스 기준
- LNG 가격 : 345.26원/Nm³ (부가세 별도) -LNG 발열량 : 10,500kcal/Nm³

2) 폐열회수시스템

가) 가스엔진구동 열펌프시스템

○ 폐수

- .폐수온도 : 40℃ -> 33℃ ($\Delta T = 7^\circ\text{C}$)
- .폐수유량 : 16.1톤/시간, 387톤/일, 10,450톤/월
- .회수열량 : 145,100kcal/시간, 3.5Gcal/일, 94.0Gcal/월

○ 온수

- .온수온도 : 55℃ -> 69.2℃ ($\Delta T = 14.2^\circ\text{C}$)
- ☞ 열펌프 : 55℃ -> 65℃ ($\Delta T = 10^\circ\text{C}$)
- ☞ 엔진배열 : 65℃ -> 69.2℃ ($\Delta T = 4.2^\circ\text{C}$)
- .온수유량 : 14.5톤/시간, 348톤/일, 9,404톤/월
- .가열량 : 195,500kcal/시간, 4.7Gcal/일, 126.6Gcal/월
- ☞ 열펌프 : 145,100kcal/시간
- ☞ 엔진배열 : 50.400kcal/시간 -> 엔진배열회수율 47%

○ 열펌프 성적계수 : 4.5

- 엔진축동력 : 37.5 kW (50 HP) -> 가스엔진 효율 30%
- 가스엔진 연료소비량 : 10.2 Nm³/시간, 245 Nm³/일, 6,610 Nm³/월
- 부대설비 전력소모량 : 19.5kW, 468 kWh/일, 12.7MWh/월

나) 전기구동 열펌프시스템

○ 폐수

- .폐수온도 : 40℃ -> 33℃ ($\Delta T = 7^\circ\text{C}$)
- .폐수유량 : 21.7톤/시간, 521톤/일, 14,075톤/월
- .회수열량 : 152,000kcal/시간, 3.7Gcal/일, 98.6Gcal/월

○ 온수

- .온수온도 : 55℃ -> 65℃ ($\Delta T = 10.0^\circ\text{C}$)
- .온수유량 : 19.6톤/시간, 469톤/일, 12,667톤/월
- .가열량 : 195,500kcal/시간, 4.7Gcal/일, 126.6Gcal/월

○ 열펌프 성적계수 : 4.5

- 압축기 소비동력 : 53.2 kW (71.3 HP) -> 전동기 효율 95%
- 전력소모량(열펌프+부대설비) : 72.7kW, 1.74MWh/일, 47.1MWh/월

3) 기존 시스템(LNG 보일러)

○ 온수

- .온수온도 : 55℃ -> 70℃ ($\Delta T = 15.0^\circ\text{C}$)
- .온수유량 : 13.0톤/시간, 313톤/일, 8,444톤/월
- .가열량 : 195,500kcal/시간, 4.7Gcal/일, 126.6Gcal/월

○ 보일러효율 : 82%

- 연료소비량 : 22.7 Nm³/시간, 545 Nm³/일, 14,710 Nm³/월
- 부대설비 전력소모량 : 10.2kW, 244 kWh/일, 6.6MWh/월

4) 운전비용

가) 가스엔진구동 열펌프시스템

- 운전비용 : 3,313천원/월 → 39,756천원/년
- LNG 소요비용 : 2,510천원/월 → 30,120천원/년
- 전기사용요금 : 803천원/월 → 9,636천원/년
- 나) 가스엔진구동 열펌프시스템
- 운전비용 : 2,991천원/월 → 35,892천원/년
- 전기사용요금 : 2,991천원/월 → 35,892천원/년
- 다) 기존 시스템(LNG 보일러)
- 운전비용 : 6,005천원/월 → 72,060천원/년
- LNG 소요비용 : 5,587천원/월 → 67,044천원/년
- 전기사용요금 : 418천원/월 → 5,016천원/년

5) 운전비용 절감액

- 가스엔진구동 열펌프시스템 : 2,692천원/월 → 32,304천원/년
- 전기구동 열펌프시스템 : 3,014천원/월 → 35,892천원/년

4.4 에너지가격 변동에 따른 운전비의 민감도 분석

염색공장에서 배출되는 폐수열을 회수하기 위한 열회수시스템으로 열펌프를 적용할 경우 구동열원으로 전기와 가스엔진을 사용할 때의 운전비절감액을 에너지가격의 변화에 따라 살펴 보았다. Fig. 12는 전기 및 LNG 가격이 동시에 20% 하락에서 20% 상승시까지 EHP와 GHP의 운전비절감액 변화를 나타낸 것으로서 현재의 에너지가격에서 운전비절감액을 살펴 보면 에너지 이용효율이 GHP보다 EHP가 더 떨어짐에도 불구하고 EHP가 GHP보다 10% 더 절약되는 것을 알 수 있다. 이것은 현재 산업체에 적용되고 있는 에너지가격, 즉 전기요금은 계절별, 시간별, 그리고 심야전력요금 적용 등으로 매우 저렴한 반면 가스요금은 연중 일정하게 적용되어 가격 경쟁력에서 떨어지기 때문에 나타나는 현상이라 할 수 있다. 따라서 Fig. 13은 전기요금이 일정할 때 가스요금의 변화에 따라 EHP와 GHP의 운전비절감액의 변화를 나타낸 것으로서 현재의 가스요금이 약 12% 하락하였을 때 EHP와 GHP의 운전비절감액이 같게 나타나므로 가스요금도 비수기인 하절기에는 냉방용 가스요금에 적용하는 것과 같이 에너지절약장치에도 할인요금을 적용하는 것이 향후 산업폐수열회수에 GHP 시스템을 널리 보급할 수 있는 기틀이 마련될 것으로 사료된다.

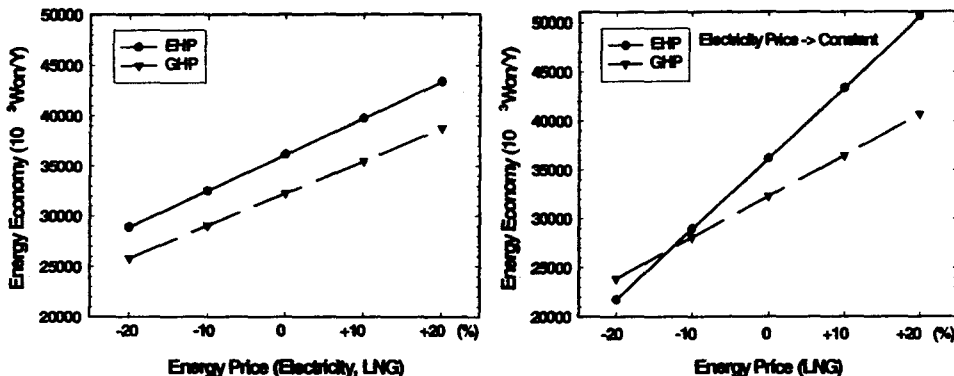


Fig. 12 Variation of energy economy depending on electricity and LNG price in heat pump

Fig. 13 Variation of energy economy depending on LNG price in heat pump

5. 결 론

염색업체의 폐수열을 회수하기 위한 열펌프시스템의 적용을 위해 폐수의 특성과 열펌프의 구동열원에 따른 운전비절감액 등을 비교분석한 결과는 다음과 같다.

1) 에너지 관점에서 각 염색가공공정의 비중 및 에너지 소비형태를 파악하기 위하여 염색가공공정별로 열단위를 산정한 결과 정련, 수세과정 및 염색과정에서 소요되는 모든 열량을 고려하면 T/C, T/R 교직물 > 폴리에스테르 > Nylon > N/C 교직물의 순으로 평균소요열량이 높은 것으로 파악되었고, 상대적으로 에너지 사용량이 많은 T/C, T/R 교직물 업체나 폴리에스테르 염색업체가 폐수열회수 대상업체로서 타당한 것으로 판단된다.

2) 폐열원인 염색폐수의 배출량 및 폐수의 온도는 폐열회수를 위해 적용하고자 하는 열펌프를 이용한 폐열회수시스템의 적용가능성, 적정 규모의 도출 및 시스템 구성방안을 마련하기 위해 가장 먼저 검토되어야 할 사항이며, 염색업체에서 배출되는 폐수의 계절별 평균 배출량과 온도를 조사한 결과 각 업체당 평균 폐수배출량은 20,470톤/월이고, 평균폐수온도는 41.0℃를 나타내고 있다.

3) 배관 침적, 폐쇄 등으로 폐열회수시스템의 안정적 운전이나 열교환기의 성능에 악영향을 끼칠 수 있는 SS의 경우 폴리에스테르 염색폐수가 가장 낮아 폴리에스테르 염색폐수가 폐열회수에 가장 유리할 것으로 판단된다. 그러나 폐열회수시스템에 폐수처리설비 설치의 필요성이나 적절한 재질 선정을 위해서는 본 연구에서 검토된 수질항목인 알칼리도, COD, BOD, SS 외에도 부식을 유발시키는 원인물질인 황산이온, 염산이온 및 이들 성분들의 함량에 간접적인 지표인 전도도 등에 대한 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

4) 염색공장에서 배출되는 폐수열을 회수하기 위한 열회수시스템으로 열펌프를 적용할 경우 에너지 이용효율이 GHP보다 EHP가 더 떨어짐에도 불구하고 EHP가 GHP보다 10% 더 절감되고 있으며, 현재의 가스요금이 약 12% 하락하였을 때 EHP와 GHP의 운전비절감액이 같게 나타나고 있다.

5) 따라서 가스요금도 비수기인 하절기에는 냉방용 가스요금에 적용하는 것과 같이 에너지절약장치에도 할인요금을 적용하는 것이 향후 산업폐수열회수에 GHP 시스템을 널리 보급할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 벽산개발주식회사, “剩餘 廢熱利用 妥當性檢討(大邱染色工團)”, 에너지관리공단, 1995.
2. 박준택외 10인, “미활용에너지 실태조사 및 이용방안 연구”, 대구광역시, 1998.
3. R. M. Lazzarin, “Heat Pumps in Industry-Equipment”, Heat Recovery Systems & CHP, Vol. 14, No. 6, pp.581-597, 1994.
4. 高田秋一, “工業用 ヒートポンプ”, 省エネルギーセンター, 1984.
5. 박준택외 12인, “염색폐수열 이용사업 타당성 조사”, 대구광역시, 2000.
6. 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, 38(1), pp115~122, 1983.
7. 省エネルギー對策委員會編, 纖維工業における省エネルギー技術, 1981.