

에너지 절감형 염색기용 직접냉각수세장치에 대한 연구

한승철^{1*}, 김진호², 김제훈², 이성규³
¹영남이공대학 자동차학과, ²영남대학교 기계공학부, ³케이엘테크

A Study on Direct Cooling and Washing Machine for Energy Saving-Type Dyeing Machine

Seung-Chul Han^{1*}, Jin-Ho Kim², Je-Hoon Kim² and Sung-Kyu Lee³

¹Department of Automobile, Yeungnam College of Science & Technology

²School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

³KL-TECH

요 약 최근 국내 섬유산업의 생산량이 증가함에 따라 섬유산업에서 에너지 소비는 계속 증가되고 있는 실정이다. 기존의 염색기는 고온·고압의 특성을 가지고 있기 때문에 염색 후 냉각을 하기 위하여 열교환기를 통한 간접냉각방식을 채택하고 있다. 이러한 간접냉각방식은 물의 소모량이 많으며 작업 시간 또한 오래 걸리는 문제점이 있고 냉각 시 염액의 고착으로 인해 냉각 후 환원세정 및 수세를 수차례 하므로 에너지가 많이 소비된다. 따라서 본 논문에서는 고온·고압 액류 염색기의 열교환기에 의한 간접냉각방식을 염색기내에 냉수를 직접 공급하는 직접냉각방식으로 대체하기 위한 장치를 개발하여 기존의 염색기에 적용하여 냉각과 동시에 환원세정공정을 생략하고 수세공정을 단축시키면서 전공정을 마무리함으로써 전체 작업공정을 줄이고 에너지 소비를 절감하는 등의 생산성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 직접냉각수세장치를 제안하며, 시제품을 제작하고, 실제 염색기에 적용하여 기존의 간접 냉각 방식의 염색기와 성능, 자원 및 에너지 절감율을 비교하였다. 또한 시제품을 적용한 염색기의 염색성 실험을 하였다.

Abstract Due to increase in production of the domestic textile industry, energy consumption in textile industry is still growing. Traditional dyeing machine has high temperature and pressure. Accordingly, it uses an indirect cooling system that utilize a heat exchanger to cool after the dyeing. However, this indirect cooling system consumes a great deal of water, takes prolonged periods of time to process and, most importantly, because of the condensing of the dye at the cooling stage requires further energy in reduction cleaning and washing process. Therefore, in this paper, we propose a direct cooling washing machine that replaces the traditional indirect cooling system to provide coolant into the dyeing machine. The newly proposed direct cooling washing machine will still use parts of the traditional dyeing but will be able to skip the cooling as well as the reduction cleaning and washing process, resulting in less processing time and lower energy consumption. Also, we made a prototype. The prototype was applied to dyeing machine to test the direct cooling washing machine's ability and dyeing property. Additionally, we compared indirect cooling washing machine with direct cooling washing machine about ability, material and energy saving assessment.

Key Words : Jet dyeing machine, Direct cooling washing machine, Energy saving, Reduction cleaning process

1. 서론

1980년대 이후 국내 섬유산업의 생산량은 지속적으로

증가하고 있고, 이에 따라 섬유산업은 국내 산업발전의 기반으로 자리 잡고 있다. 고부가가치 산업으로 성장하고 있는 섬유 산업은 지속적인 연구개발의 투자가 필요한

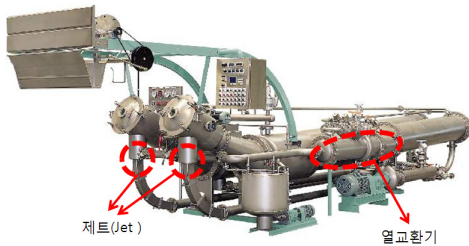
*교신저자 : 한승철(schan67@ync.ac.kr)

접수일 11년 10월 18일

수정일 (1차 12년 01월 11일, 2차 12년 02월 07일)

게재확정일 12년 02월 10일

산업으로, 장기적인 섬유산업의 관점에서 지역 실정에 맞는 기초기술개발이 시급한 실정이다. 최근 2000년대까지 제조 산업과 섬유산업의 에너지 소비율을 살펴보면 제조 산업은 에너지 소비가 줄어들고 있는 반면 섬유산업에서 에너지 소비는 계속 증가되고 있는 실정이다[1-2]. 섬유 산업이 점점 에너지 다소비 산업으로 바뀌고 있음에 따라 염색효율을 높일 수 있는 기술개발을 통하여, 섬유제품의 고부가가치화와 더불어, 에너지 절약산업으로의 변화 방안이 동반적으로 고려되어야 할 것이다[3]. 액류 염색기는 1961년 Burington사가 최초로 발명하여 현재까지 다양하게 사용되고 있다. 액류 염색기는 두 단계로 이루어지며, 능동 단계(Active Phase)는 단이 빠른 속도로 제트 노즐(Jet Nozzle)부분을 이동하면서 새로운 염액이 활발히 교환되고 염액으로부터 대부분의 염료가 피염체로 흡수되는 단계이며, 전체 염색시간의 약 2%를 차지한다. 수동 단계(Passive Phase)는 단이 제트 노즐 쪽으로 천천히 이동하며 섬유내부로의 염료 확산이 일어나는 단계이며 원단은 겹쳐진 상태로 이동되는 것을 의미한다. 액류 염색기는 구조적으로 윈스 염색기(Wince Dyeing Machine)와 비슷한 고압 염색기이나, 윈스 염색기는 피염물의 이동을 릴(Reel) 회전력으로 수행하는데 비해 액류 염색기는 노즐에서 뿜어내는 염료액의 분출류를 주력으로 하고 릴의 회전을 보조적인 구동력으로 하고 있는 점이 다르다. 즉, 액류 염색기는 피염물이 경사방향으로 받는 장력을 감소시키기 위하여 피염물의 이송방법을 개선한 염색기이다.



[그림 1] 액류 염색기
[Fig. 1] Jet dyeing machine

그림 1은 고압 유니젯 액류 염색기의 개략도이며, 주요 부분은 제트(Jet) 부분과 열교환기 부분으로 나눌 수 있다. 제트 부분은 원단이 통과할 때 주름이 발생하나 통과 직후 부풀면서 대부분의 주름은 제거된다[4]. 제트 노즐부의 지름이 너무 작으면 길이 방향으로 과도한 주름이 생기고 염액 총량에 비해 원단의 이동속도가 느리게 되는 단점이 있다. 열교환기는 고압수증기에 의한 열응력

에 견뎌야 하고, 균열이 생기지 않아야 하며 장기간 사용 시 염료와 저중합체(Oligomer)가 열교환기 내부표면에 달라붙어 모이게 되므로 정기적인 세척이 필요한 부분이다. 또한 기존의 염색기들은 고온·고압의 특성을 가지고 있기 때문에 염색 후 냉각을 하기 위하여 열교환기를 통한 간접냉각방식을 채택하고 있다. 이러한 간접냉각방식은 물의 소모량이 많으며 작업 시간 또한 오래 걸리는 문제점이 있고, 냉각 시 염액의 고착으로 인해 냉각 후 환원세정 및 수세를 수차례 하므로 에너지가 많이 소비된다.

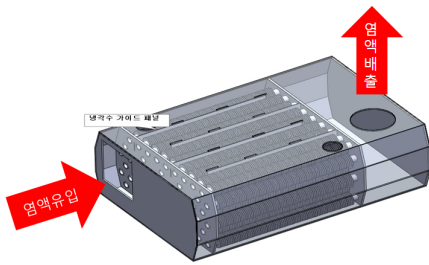
따라서 본 논문에서는 고온·고압 액류 염색기의 열교환기에 의한 간접냉각방식을 염색기내에 냉수를 직접 공급하는 직접냉각방식으로 대체하기 위한 장치를 개발하여 기존의 염색기에 적용하여 냉각과 동시에 환원세정(Reduction Cleaning : RC)공정을 생략하고 수세공정을 단축시키면서 전공정을 마무리함으로써 전체 작업공정을 줄이고 에너지 소비를 절감하는 등의 생산성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 직접냉각수세장치를 제안하며, 이 장치의 시제품을 제작하여 실제 염색기에 적용하여 기존 염색기와 성능, 자원 및 에너지 절감율을 비교하였다. 또한 시제품을 적용한 염색기의 염색성 실험을 하였다.

2. 직접냉각수세장치의 설계

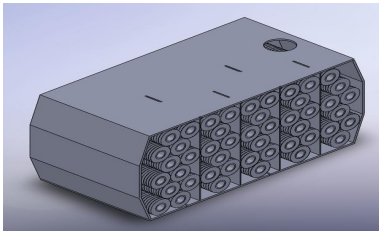
본 논문에서 제안하는 직접 냉각 및 수세장치(Direct Cooling Washing Machine : DCW)의 전체시스템은 열교환기, 펌프 및 냉각수 유입 및 토출 배관, 수위조절부, 가압장치 등으로 구성되어 있다. 염액 및 냉각수 유입부에 열교환기를 설치하여 고온의 염액에서 열교환을 통하여 냉각수를 가열 하여 염색기에 공급하는 냉각수의 온도를 상승시키는 원리이다.

DCW의 핵심부품인 열교환기는 주열교환기와 보조 열교환기 3기로 구성되어 있다. 염색기 내부의 고온·고압 상태에서 직접 냉각수를 유입하기 때문에 고온의 염액을 외부로 배출하게 된다. 외부로 배출된 염액은 DCW의 염액유입부로 투입되어 수세를 위한 냉각수의 적정 온도상승을 위해 사용되어 진다.

그림 2는 주 열교환기의 개략도를 보여준다. 주 열교환기는 10면체의 다각형이며, 염액의 수압(4 bar)으로부터 배플림을 방지하고자 내부에 냉각수 가이드 패널을 두어 몸체를 단단히 고정시킴과 동시에 냉각수의 잔류시간을 증가하여 전열을 촉진하였다.



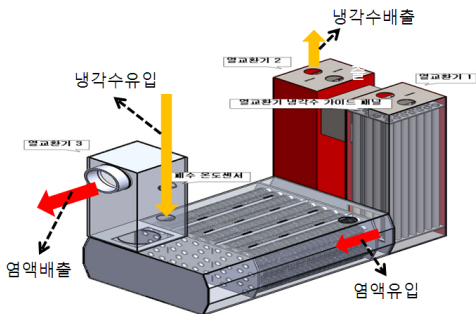
(a) 입체도



(b) 단면도

[그림 2] 주 열교환기의 개략도
[Fig. 2] Schematic diagram of main heat exchanger

그림 3은 주 열교환기와 보조 열교환기를 조립한 개략도를 보여준다. 보조 열교환기 또한 주 열교환기와 비슷한 방법으로써 기기마다 열교환기 사이에 냉각수의 배출을 추가하고, 냉각수가 흐르는 경로를 증가시켜 전열을 촉진 시켰으며, 열교환기 3은 염액 온도를 측정하고 유량을 제어하기 위하여 온도 센서를 장착하였다. 보조 열교환기는 제작 및 용접 시 용이하게 하기 위하여 사각형 기둥 형상으로 하였다.

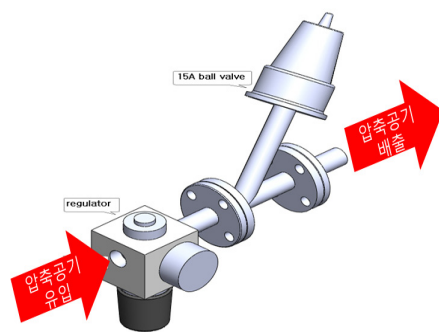


[그림 3] 열교환기를 조립한 개략도
[Fig. 3] Schematic diagram of assembled heat exchanger

DCW의 염액과 냉각수의 원활한 순환을 위하여 냉각수 흡입 및 토출 배관을 설계하였다. 배관은 냉각수 유입 시 펌프 임펠러에 받는 충격을 줄여주기 위해 U자형 배

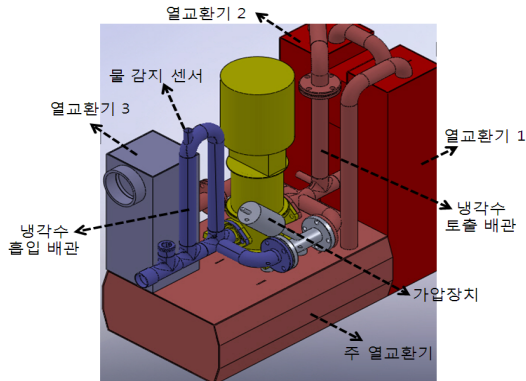
관으로 하였고, 상부에 물 감지 센서를 설치하여 냉각수 차단이나 부족한 경우 펌프의 손상을 방지하기 위하여 장착하였다. 펌프에서 토출되는 냉각수를 주 열교환기로 공급하며 열교환기를 거친 냉각수는 다시 토출관 상부로 유입되어 토출되는 원리이다.

DCW의 냉각수 공급 및 순환을 위한 시스템은 냉각수 유입부, 냉각수를 유입시키기 위한 펌프, 냉각수 배출부 그리고 각종 문제 발생 시 대응할 수 있는 물감지 센서, 릴리프 밸브, 체크 밸브로 구성되어 있다. 물 감지 센서는 냉각수 차단이나 부족한 경우를 감지하기 위한 장치이며, 릴리프 밸브는 DCW에서 염색기로 공급되는 냉각수가 차단되었을 시 펌프의 시동 및 정지로 인한 충격을 줄이기 위해 밸브를 열어 순환시킴으로써 펌프의 손상을 방지하며 수명을 연장하기 위한 장치이며, 체크 밸브는 염색기로부터 DCW로 역류를 방지하는 장치이다. 직접 냉각 및 수세를 원활하게 운전하기 위해서는 염액의 수위를 파악하면서 냉각수를 공급하여야 한다. 일반적으로 염색기에는 염액의 수위를 파악하기 위하여 수위 레벨계가 장착되어 있으나 이는 육안으로 확인이 가능한 아날로그 형태로서 수위에 맞게 제어를 위해서는 제어 신호를 송출할 수 있는 수위계가 필요하므로 수위 레벨계를 장착하여 정확한 수위제어를 구현하도록 하였다. 또한, DCW의 염액 토출구의 위치를 염색기의 수위보다 높게 위치하고 가압장치를 설치하여 원활한 배수를 위하여 압축 공기를 유입하였다. 그림 4는 가압장치의 개략도를 보여준다.



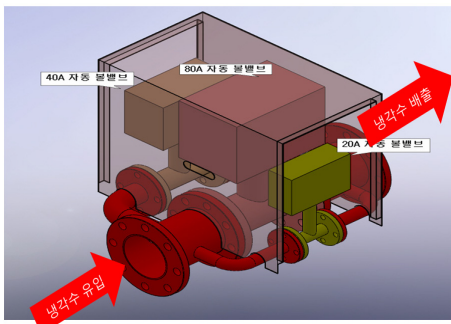
[그림 4] 가압장치의 개략도
[Fig. 4] Schematic diagram of pressure device

그림 5는 설계한 열교환기, 펌프 및 냉각수 유입 및 토출 배관, 수위조절부, 가압장치를 장착한 DCW의 전체 개략도를 보여준다.



[그림 5] DCW의 개략도
[Fig. 5] Schematic diagram of DCW

또한, 염액의 유량을 상황에 맞게 조절하기 위해 염액 바이패스 장치를 설계하였다. 그림 6은 염액 바이패스 장치의 개략도를 보여준다. 염액 바이패스 장치는 염색기와 DCW를 연결하여 냉각수 온도센서와 염액의 온도센서에 의해 유체의 온도를 측정하여 작업 사항 및 주변 환경에 맞게 펌프로부터 유입되는 냉각수와 염액의 유량을 적절히 조절하기 위한 장치이다.



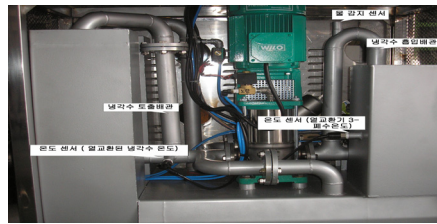
[그림 6] 염액 바이패스 장치의 개략도
[Fig. 6] Schematic diagram of dyeing water bypass device

DCW는 염색기로부터 유입되는 염액이 염액 바이패스 장치를 거쳐 유량을 조절하게 되고, 바이패스 바이패스 장치를 거친 염액은 주 열교환기와 보조 열교환기를 거쳐 배출구로 배출되어 진다. 이때 열교환기를 거치면서 염액이 가지고 있는 열을 열교환을 통해 냉각수에 전달하게 된다. 냉각수는 펌프에 의해 냉각수 유입부를 지나 주 열교환기와 보조 열교환기로 흘러가 염액으로부터 열교환을 받으며 냉각수 토출부로 흐르게 된다. 또한 냉각수 토출부에서 나온 냉각수는 염색기로 공급되어 진다.

3. 시제품 제작 및 성능 실험

앞서 설계한 DCW의 각 구성품들을 바탕으로 직접 냉각 및 수세장치의 시제품을 제작하고 실제 염색기에 장착하여 성능 실험을 하였다. 그림 7은 각 구성품들을 제작하여 조립한 DCW의 시제품을 보여준다.

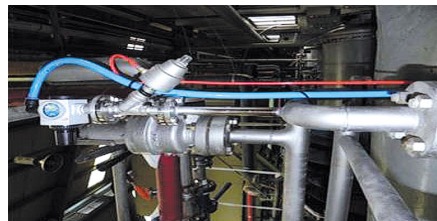
제작한 DCW를 실제 액류 염색기에 장착하여 성능 실험을 하고 기존 염색기와 비교하였다. 실험은 기존 간접 냉각방식을 적용한 염색기와 DCW를 적용한 염색기를 이용하여 직물 염색 시 소요된 작업시간, 용수사용량, 작업횟수에 대해 실험하였다. 실험에 사용된 용수의 온도는 유입구에서 약 20 °C이며, 배출구에서 약 40-50 °C로 동일한 조건이다.



(a) 내부 모습



(b) 외부 모습



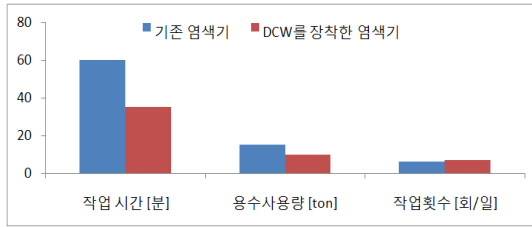
(c) 가압장치



(d) 바이패스 장치

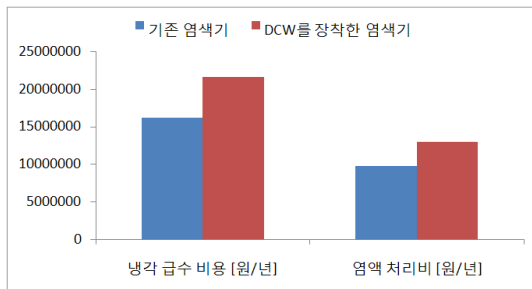
[그림 7] DCW의 시제품
[Fig. 7] Prototype of DCW

그림 8은 기존 염색기와 DCW를 적용한 염색기의 직물 염색 시 성능 실험을 한 결과를 비교하여 보여준다. 실험 결과, DCW를 적용한 염색기가 기존 염색기에 비해 작업시간은 약 40% 감소함을 알 수 있었고, 용수사용량은 약 35% 감소하였고, 작업횟수는 약 16% 증가함을 알 수 있었다. 따라서 DCW를 장착한 염색기가 기존 염색기에 비해 작업시간을 줄일 수 있고, 작업횟수를 늘릴 수 있으므로 향상된 성능을 보임을 알 수 있었다.



[그림 8] 성능 실험 결과 비교
[Fig. 8] Comparison of performance test

또한, 기존 염색기와 DCW를 적용한 염색기의 직물 염색 시 자원 및 에너지 절감을 비교를 하였다. 그림 9는 자원 및 에너지 절감율을 비교한 결과를 보여준다. 냉각 급수비의 평가는 25 일/월, 6 회/일, 600 원/ton을 기준으로 하였고, 폐수처리비 평가는 25 일/월, 6 회/일, 800 원/ton을 기준으로 하였다. 평가 결과, DCW를 장착한 염색기가 기존 염색기에 비해 냉각 급수비와 폐수처리비 모두 약 40%의 절감 효과를 가짐을 알 수 있었다.



[그림 9] 자원 및 에너지 절감을 평가 결과
[Fig. 9] Results of material and energy savings assessment

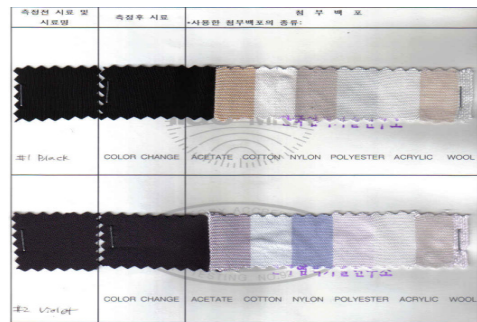
또한, 기존의 염색기의 경우 30 kW 용량의 펌프를 사용하는 반면, DCW의 경우 4 kW 용량의 펌프를 사용한다. 따라서, 전력 사용량을 비교하면 DCW를 장착한 염색기가 염색 1회당 작업 시간을 약 20분 단축한다고 가정하면 약 9 kW의 전력 사용량을 절약할 수 있다.

이러한 장점을 가진 DCW를 적용한 염색기의 염색성

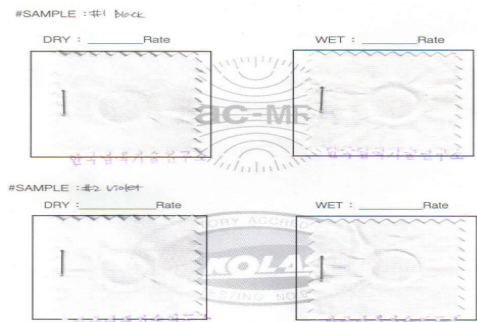
을 평가하기 위해 세탁견뢰도, 마찰견뢰도, 건열견뢰도를 실험하였다. 실험 조건은 온도 20 °C, 습도 60 %의 동일한 조건으로 실험하였고, 실험 방법은 세탁 견뢰도의 경우 ISO 105-C06 방법을 적용하여 실험하였으며 마찰견뢰도는 ISO 105-X12, 건열견뢰도는 ISO 105-P01 방법을 사용하여 실험하였다. 표 1은 견뢰도 평가 결과를 보여준다. 또한, 그림 10은 염색성 실험을 한 시료를 보여준다. 실험 결과, 2가지 시료에 대해 염색물의 변퇴색과 시료의 오염을 평가하는 세탁견뢰도, 염색물 건조시 다른 섬유품과 마찰하여 오염시키는 성질을 평가하는 마찰견뢰도, 염색물에 고온의 열을 받을 경우 생상이 별하는 정도를 평가하는 건열견뢰도에 대해 4-5등급의 우수한 등급이 나타남을 알 수 있었다.

[표 1] 염색성 실험 결과
[Table 1] Results of dyeing property

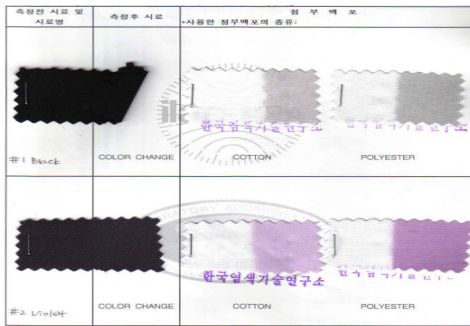
실험 항목	실험 결과		
	시료1	시료2	
세탁견뢰도	4-5	4-5	
마찰견뢰도	건조마찰	4	4-5
	습윤마찰	4-5	4-5
건열견뢰도	4-5	4-5	



(a) 세탁견뢰도 실험 결과



(b) 마찰견뢰도 실험 결과



(c) 건열건뢰도 실험 결과

[그림 10] 시료의 염색성 실험 결과
[Fig. 10] Results of dyeing property of sample

4. 결론

본 논문에서는 염색기의 간접냉각방식을 직접냉각방식으로 대체하기 위한 장치를 개발하여 기존의 염색기에 적용하여 냉각과 동시에 RC(환원세정:Redution Cleaning) 공정을 생략하고 수세공정을 줄임으로써 에너지 소비가 적어지는 등 생산성을 획기적으로 향상시키는 직접냉각 장치를 제안하고 설계하였다. 설계를 바탕으로 시제품을 제작하였고 제작한 DCW를 실제 액류 염색기에 장착하여 성능 실험을 하고 기존 염색기와 비교하였다. 실험 결과, DCW를 적용한 염색기가 기존 염색기에 비해 작업 시간은 약 40 % 감소함을 알 수 있었고, 용수사용량은 약 35 % 감소하였고, 작업횟수는 약 16 % 증가함을 알 수 있었다. 따라서 기존 염색기에 비해 향상된 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한, 직물 염색 시 자원 및 에너지 절감을 비교한 결과 냉각 급수비와 폐수처리비 모두 약 40 %의 절감 효과를 가짐을 알 수 있었다. 또한, 2가지 시료에 대해 DCW를 장착한 염색기의 염색성을 평가한 결과 세탁, 마찰, 건열건뢰도 모두 우수한 등급이 나타남을 알 수 있었다.

따라서 본 논문에서 제안하는 직접 냉각 및 수세장치를 염색기에 적용한다면 기존의 염색기 보다 효율적이고 자원 및 에너지 절감 효과를 기대할 수 있으며, 안정적인 염색기 개발이 가능할 것으로 보인다.

References

[1] Chang. K. C, et al., "Development of GHP System Using Industrial Waste Water Source", Proc. of the

Korea Society for Energy Engineering Conference, pp. 53-58, 2002

[2] Chang. K. C, et al., "An Analysis of the Application Technology of Heat Recovery System from Dyeing Wastewater", Journal of the Korea Society for Energy Engineering, Vol. 10, No. 3, pp.195-205, 2001

[3] Lazzarin, R.M., "Heat Pumps in Industry- Equipment", Heat Recovery Systems & CHP, Vol. 14, No. 6, pp.581-597, 1994.

[4] Lee. C. G, et al, "Comparison of the Product Characteristic by Jet Dyeing Machine and Air-flow Dyeing Machine", Proc. of the Korean Society of Dyers and Finishers Conference, pp. 133-138, 2000.

한 승 철(Seung-Chul Han)

[정회원]



- 2000년 2월 : 영남대학교 기계공학과 (기계공학석사)
- 2007년 2월 : 영남대학교 기계공학과 (기계공학박사)
- 1997년 8월 ~ 2007년 3월 : 상주대학교 자동차과 교원
- 2007년 4월 ~ 현재 : 영남이공대학 자동차과 조교수

<관심분야>
자동화, 제어공학

김 진 호(Jin-Ho Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (기계공학석사)
- 2002년 5월 : U.C. Berkeley (기계공학석사)
- 2005년 5월 : U.C. Berkeley (기계공학석사)
- 2005년 10월 ~ 2007년 1월 : 한국과학기술연구원 (부연구위원)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 영남대학교 기계공학과 교수

<관심분야>
전기기계, 전자기 액츄에이터

김 제 훈(Je-Hoon Kim)

[정회원]



- 2010년 8월 : 영남대학교 기계공학
학과 (기계공학학사)
- 2010년 9월 ~ 현재 : 영남대학
교 기계공학과 (기계공학석사)

<관심분야>

전기기계, 전자기 액츄에이터

이 성 규(Sung-Kyu Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : 영남대학교 금속공
학과 (금속공학학사)
- 2000년 8월 : 영남대학교 기계공
학과 (기계공학석사)
- 2002년 7월 ~ 현재 : KL-TECH
대표

<관심분야>

로봇공학, 재활의료, 자동화기계 및 설비