

염색가공분야에서 청정생산활동 접근방법

이해정*, 남창우, 박영환

우)429-450 경기도 시흥시 정왕동 시화공단3가 101블럭 한국생산기술연구원

(접수일자 : 2003. 5. 15 / 채택일자 : 2003. 6. 26)

Cleaner Production System in Dyeing & Finishing, Its Approaching Methods

Hae-Jung Lee*, Chang-Woo Nam, Young-Hwan Park

Korea Institute of Industrial Technology, 3Ga 101B, Shihwa Industrial Complex,

Sjheung-Si, Kyunggi-Do, 429-450, Korea

요 약

본 연구는 청정생산기술의 개념을 염색가공분야에 도입시키기 위한 방법론을 제시한 것이다. 먼저 각 분야별 전문가로 이루어진 진단지도팀을 구성하여 대상업체에서 진행중인 제조공정 진행상태를 파악하고 사용하는 원부자재의 성능 및 환경적 분석과 폐수의 환경적 분석을 실시하였다. 원부자재(조제 및 염료)의 환경성은 TOC, CODMn, CODCr, BOD₅의 항목으로 평가하였고, 발생되는 폐수는 TOC, CODMn, CODCr, BOD₅, TDS, pH의 항목으로 평가하였다. 또 물질수지 분석과 LCA 평가 후 다음 단계로 공정, 에너지, 원부자재, 생산관리, 일반관리에서의 문제점을 도출한 후 그 중에서 개선 대상을 선정하고 마지막 단계에서 각 부분에 대해 지도하여 개선토록 한 후 최종 개선 효과를 분석하였다.

주제어: 염색가공공정, 공정분석, 물질수지분석, LCA, 에너지절감, 원부재료 절감, 환경수치 개선, 용수절감

ABSTRACT : The aim of study was to suggest a methodology for applying cleaner production technology in dyeing & finishing process of textile materials. To accomplish cleaner production, we performed consulting activity in dyeing factory, which composed of following different procedures. First, we organized consulting team with specialists for dyeing, energy and chemicals, and visited dyeing companies for the purpose of doing basic investigation such as analysis of process, chemicals & effluents, condition of equipment and process flow of products. Environmental aspect of raw materials (dyestuff, chemicals) was assessed by TOC, COD, BOD, and effluent of that was assessed by TOC, COD, BOD, TDS, and pH. Second, We find out the problems in dyeing & finishing process from the view point of dyeing process, energy, raw materials and process management by utilizing MB (material balance), LCA(Life Cycle Assessment), EB(Energy Balance). Third, we generated the solutions to achieve optimal process condition by brain storming method, and then implemented the solutions to each process. Finally, we determined their

effectiveness after considering the results of repeating trials for the solutions. Cleaner production could be achieved by keeping optimal process conditions, equipment modification, improved production management, and on-site reuse or recycling.

keywords: Dyeing & Finishing Process, Process Analysis, Material Balance Analysis, Life Cycle Assessment, Energy Reduction, Low Material Reduction, Environmental Index Improvement, Water Reduction

1. 서 론

1. 청정생산기술의 개념

청정생산기술이란 천연자원으로부터 원료를 추출, 제품으로 생산, 폐기물 및 부산물의 재 자원화, 생태계로 폐기될 때까지의 모든 과정에서 환경오염 물질을 원천적으로 방지, 최소화하여 환경보전과 제조원가 절감을 병행 실현하는 사전 예방적 개념을 의미한다. 즉, 제품의 생산과 관련된 전 과정에서 오염물질의 발생을 근원적으로 감소시키는 경제적이고 환경친화적인 생산기술을 말하며, 각 생산과정에서 오염물질을 최소화하는 기술이므로 기존 일반환경기술(EOP기술)이 아닌 생산기술(FOP기술)이라 할 수 있다.

일반환경기술은 환경오염물질의 사후처리(EOP) 기술 개념의 환경보전기술로서, 다이옥신, 중금속, 유해가스 같은 2차 환경오염물질을 발생시키고 상대적으로 낮은 초기투자비용으로 쉽게 접근할 수 있으나 생산공정과는 별도로 운영되기 때문에 지속적인 경제적 부담을 갖게 하여 제조원가의 상승으로 이어지게 된다. 이와는 반대로 청정생산기술은 환경오염물질의 사전처리(FOP)기술 개념의 생산기술로서, 공정에서의 오염물질의 발생을 사전에 예방하고 원천적으로 제거함으로써 환경오염물질 발생을 최소화시키는 것을 의미한다. 이러한 청정생산기술은 비교적 높은 초기투자비용을 요구하나 오염물질의 감소를 통한 후처리 비용의 절감과 공정개선을 통한 원가절감 등의 효과로 초기투자비의 회수가 용이하고 생산공정의 통합으로 지속적인 경제발전이 가능하다. 이러한 청정생산기술은 생산공정의 이해와 시스템적 접근을 통해서만 개발 가능하고 할 수 있다.

염색가공분야에서는 청정생산기술을 도입함으로써

써, 다음과 같은 효과를 얻고자 한다. 첫째, 청정생산체계의 구축으로 영세한 국내 염색가공업체로 하여금 향후 당면할 각종 국내외 환경관련규제에 원천 대응하고 원가 및 환경관리비용의 절감 등을 통해 실질적인 경영개선 및 국제경쟁력을 키우도록 지원하고자 하고, 둘째, 새로이 확립된 청정생산기술을 표준화하고 적용된 기법들 가운데 일반적이고 공통성이 있는 부분을 전 염색가공업체에 보급, 확산하여 국내의 환경을 보호하고 염색가공산업의 지속적인 발전의 토대를 마련하고자 하며, 셋째, 염색가공공정의 청정화를 위해 적용가능하고 파급효과가 큰 청정생산기술개발 과제를 도출하고자 한다.

2. 청정생산기술의 필요성

과거 30년간 급속히 진행되어 온 산업화로 인해 각종 오염물질들의 배출부하량이 증가하고 있으며 이로 인해 우리가 사는 환경이 크게 오염되었고 이제는 더 이상 간과할 수 없는 심각한 사회문제가 되고 있다. 또한 최근 들어 환경오염속도가 지구의 자정능력을 넘어섬에 따라 전 세계적으로 지속가능한 발전을 꾀해야만 한다는 사회적 압력이 커져 기업경영에 있어서도 이제 환경문제는 어느 요소보다도 중요해진 상황에 이르렀다.

이러한 환경문제를 해결하기 위해서 지금까지는 배출된 유해물질에 대한 사후종말 처리에 대부분의 정책이 집중되어 왔으나, 사후처리는 2차 오염발생 등 효율측면에서 만족스럽지 않아 최근 오염발생을 근본적으로 줄일 수 있는 각 산업 및 공정별 청정생산기술이 관심의 대상이 되고 있다. 또한 국제 여건을 보아도 국제표준위원회(ISO)에서는 ISO 14000 시스템내에 공정 및 생산방식(PPMs)에 관한 규제항목을 두어 상품생산, 사용 및 폐기에 이르기까지의 전

과정에 적용되는 국제환경 표준규격을 설정하고 이에 미달되는 제품에 대하여는 무역제제조치를 취하는 등 환경과무역을 연계한 규제를 추진 중에 있으므로 향후 닥쳐올 이러한 환경요인에 기인한 무역장벽에 대응하기 위해 청정생산 체제 구축의 중요성은 더욱 커지고 있다.

환경관련 기술이 산업발전의 중요한 기본요소임에도 불구하고 우리나라의 수준은 선진국의 30~60% 수준에 머물고 있으며, 특히 환경 복원기술, 환경위해성 평가기술 및 청정생산기술 등은 초보적인 수준으로서 이로 인한 대외 기술의존도가 70% 이상에 달하고 있다.

염색공정은 거의 모든 섬유제품에 대해 실시되는 중간생산단계로서 일련의 습식처리로 인해 많은 양의 물과 약품 그리고 에너지가 사용되고 있으며, 사용된 이들 물질과 에너지는 폐수와 배기 등의 형태로 상당량이 환경 중으로 배출되기 때문에 오래동안 공해업종이라는 지탄을 받아오고 있다. 먼저 대기오염문제를 살펴보면, 염색가공공정에서는 많은 양의 열에너지를 필요로 하며 이에 상당하는 만큼의 이산화탄소가 배출된다. 공정에 따라 특정 유해물질이나 악취가 배출되기도 한다. 이산화탄소는 지구온난화를 일으키는 여러 물질 중 가장 기여도가 큰 것으로 지구온난화가 심화됨에 따라 기후변화협약을 통해 국가별 이산화탄소 배출량을 규제 받는 상황에 이르렀는데 본 협약이 발효된다면 에너지 다소비 업종인 염색업계가 받을 영향은 매우 크다. 수질오염 측면을 보면 염색 중에 많은 양의 용수가 사용된다는 점이다(생산제품 증량 대비 200배 가량 소모). 이미 물부족 국가로 분류된 상황에서 염색업종은 매우 불안한 기반 위에서 있다고 할 수 있다. 또한 사용된 용수의 거의 대부분이 폐수의 형태로 배출되어 폐수처리시 미치는 부하가 커 결과적으로 국내의 주요 수계들을 오염시키는 요인이 되고 있다.

이러한 상황 속에서도 다행스러운 점은 염색가공공정에 있어서 환경성과 밀접한 관련이 있는 설비, 부품 및 소재, 조제, 염료 및 가공제 등 각종 주변요소산업이 지속적으로 발달하고 있기 때문에 이들을 염색공정에 접목, 응용함으로써 염색공정을 청정화 할 수 있는 잠재력이 매우 크다는 것이다. 국내의

염색공정을 청정생산화하는 데에는 각각 특징이 있는 두 가지 방법이 있다. 첫째는 혁신적인 기술을 개발하여 염색공정에 활용하는 것인데 기술개발 및 개발기술의 정착을 통해 가시적인 성과가 얻어지기까지만 상당히 긴 시간이 필요하다. 둘째는 이미 개발되었으나 관리나 적용기술의 미비 등으로 현장적용이 안되고 있는 각종 청정생산기법들을 활용하는 방법인데 이것은 단기간에 효과를 가져오며 범용성이 넓어 국내의 현 상황에서는 후자의 방법이 더욱 효율적이고 그 성과가 클 것으로 보인다. 따라서 본 사업에서는 전문가팀이 염색가공공정을 면밀히 진단하고, 분야 및 업종별로 응용가능성이 큰 청정생산기법을 발굴해 이를 도입토록 함으로서 국내 염색산업의 구조를 저공해, 에너지 고효율화 업종으로 전환하고 염색산업의 국제경쟁력을 제고시킬 필요가 있다.

3. 청정생산기술의 방법론

염색공정에서의 청정생산을 위한 기본적인 개념은 재염율을 줄여 염색공정에서 발생하는 환경부하를 줄이는 것이다. 염색공정은 기본적으로 바이어가 요구하는 색상을 맞추어 내는 것을 요구하는데, 이때 요구하는 색상과 생산된 제품과의 색상차이가 발생한다면 염색공장에서는 제품의 색상을 맞추기 위하여 다시 한번 염료를 추가하여 염색을 실시하게 되는데, 이것을 재염이라고 한다. 실제 염색공장에서는 적게는 2~3%, 많게는 20% 이상의 재염을 실시하고 있다. 이러한 재염은 염료 및 각종 염색조제의 추가를 동반하고 필연적으로 용수와 에너지의 낭비를 초래하게 되어 기업의 입장으로는 원가상승의 원인이 되고 있고, 환경적으로는 원부자재의 투입에 의한 환경부하량의 증가, 용수의 사용에 의한 폐수발생량의 증가 및 에너지 사용으로 대기오염을 수반하게 된다. 따라서 염색공정에서의 청정생산기술이란 재염율을 줄이는 것이 가장 우선적으로 행해져야 한다고 판단된다.

염색가공공장에서 환경오염을 유발하는 재염을 줄이기 위하여 사용하고 있는 원부자재의 성능과 특성을 파악하여 생산공정에서의 일발율(한번에 염색을 끝내는 비율)을 높이고자 한다. 이를 위하여 대상기

업에서 사용하고 있는 염료와 조제를 수거하여 상용성을 비롯한 염료의 각종 특성과 조제의 성능평가를 통한 최적의 원부자재 사용조건을 확립시켜야한다. 그리고 공정예비진단을 통하여 현재공정의 특성을 파악하고 이를 근거로 물질수지분석과 환경분석을 실시하여 현재공정의 적정성을 파악한다.

그 후 사용하고 있는 각종 장비를 조사하고 그 에너지 재원을 파악하여 현재 생산공정의 에너지수지분석을 실시한다. 이와 같은 원부자재 분석, 환경 분석, 물질수지분석, 에너지수지분석을 종합하고, 진단지도위원들이 공정을 직접 조사한 결과를 토대로 현재공정의 문제점을 도출하여 도출된 문제점을 정리하고 각 문제점에 대한 해결방안을 제시한다. 도출된 개선안에 대하여 간단한 것은 즉시 현장개선을 실시하며, 보완 검증이 필요한 내용에 대해서는 실험실적 검증과 한국생산기술연구원에서 보유한 pilot plant를 활용하여 사전 검증을 충분히 거친 뒤 현장에 적용한다.

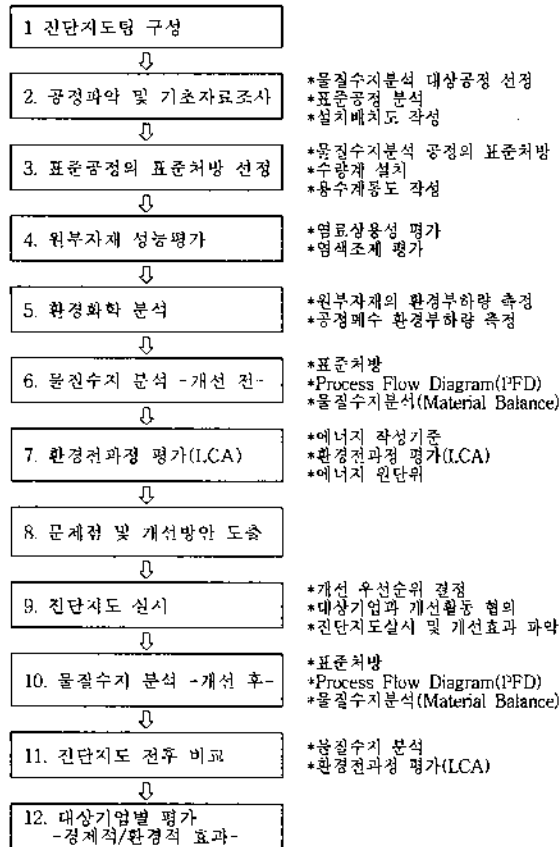


그림1. 사업추진체계

상기와 같은 개선활동을 공정, 에너지, 원부자재, 관리의 4가지 영역으로 구분하여 진행하며, 각 개선안에 대한 경제적, 환경적 효과를 파악하여 개선안의 평가에 참조한다. 이와 같은 개선방안의 적용을 통하여 원가절감, 에너지사용량 절감, 원부자재 투입량 절감, 폐수발생량 감소, 환경부하량 감소 등의 효과를 얻을수 있으며, 얻어진 효과로 물질수지분석과 에너지 수지분석을 통하여 그 정량적, 정성적 효과를 정리한다.

II. 본 문(세부절차)

1. 공정예비진단

진단지도사업의 수행을 위하여 관련분야 전문가들로 진단지도팀을 구성하여 대상업체의 현장실태조사를 실시한다. 이를 통해 수집된 자료를 바탕으로 현재 업체에서 주로 진행중인 공정을 분석하여 물질수지분석을 위한 표준공정을 선정하고, 원부자재의 성능평가를 위해 원부자재 샘플링하며, 계측기의 설치로 용수, 전기, 스팀 등의 유틸리티 사용량 등을 확인하고 설비배치, 폐수처리시설현황 등의 전체공정을 분석하는 예비진단을 실시한다.

표1. 진단지도팀 구성 및 업무내용

진단지도팀	업무내용
공정진단지도팀	- 공정예비조사 - 염색가공 공정도 작성 - 염색공정 진단 및 문제점 발굴 - 현장 작업자 교육 - 개선방안 도출 및 현장적용 시험 - 기타 전문가팀과 연계하여 종합평가
원부자재평가팀	- 염료평가 (환경성, 유해성, 상용성 등) - 염색조제 성능평가 (산성제, 균염제) - 직접 염료 및 조제 선정 - 기타 사용약품 평가
환경, 분석팀	- 현장시료의 공정별 시료 채취 - BOD, COD, 특정 유해물질 분석 - 환경문제 자문 - 원부자재 및 제품의 유해성 평가 - 진단지도후 전후 평가
M/B, E/B	- M/B 기초자료 조사 (생산량, 투입량, 배출량) - 각 공정별 M/B 작성 - 진단지도후 전후 M/B 비교평가
LCA팀	- 환경유면 문제공정 발굴 - 환경 전과정 평가(LCA)
시스템, 에너지팀	- 기계적 문제점 해결 - 용수 및 에너지 회수방안 도출 - 기계별 운전표준 제정
현장팀	- 분석시료 sampling (폐수 원부자재 등) - 현장data 취합 (유량, 배출량, 재입출 등) - 원부자재 투입량 확인 - 현장적용 시험 실시

2. 표준공정 선정 및 각 공정별 평가

2.1 염색공정분석

섬유류의 염색가공공정은 소재의 종류, 활용설비, 생산일정 및 요구되는 품질수준 등에 따라 상이한 작업순서 및 조건으로 진행되며, 그들 각각은 물질 및 에너지 수치, 청정생산을 위한 핵심 포인트의 위치 등의 측면에서 나름대로의 환경적 특성을 나타내므로 여러 거래처로부터 수주한 다양한 품목을 취급하는 복잡한 제조공정루트 중 1~2개를 선정하여 접근할 필요가 있다.

이러한 대상공정은 물량적으로 가장 많은 양이 취급되는 품목 및 공정루트를 선정함으로써 사업추진에 따른 청정생산 및 오염부하억제 효과의 극대화를 얻을 수 있다.

2.2 원부자재평가

기본적으로 염색시 사용되는 각종 조제의 성능평가는 고형분, 기포성, 산·알카리 안정성, 정련성 등을 평가하게 되고, 염료는 분산염료의 경우 입도분석, 분산성, 염료와 분산제간의 상호결합비, 상용성 등을 평가한다.

2.2.1 염료의 상용성

공정예비진단시에 대상업체에서 사용되고 있는 각종 염료를 샘플링하여 염착곡선측정기(Dye-O-Meter)를 사용하여 염료의 상용성을 조사하게 되는데, 일반적

으로 초기 염착속도가 비슷하고, 최종흡착량이 같은 염착거동이 유사한 염료들을 상용성이 좋다고 한다.

섬유의 염색에 있어 사용하는 염료의 성능에 따라 색상의 재현성, Lot간 색차가 발생하게 된다. 이러한 색차의 발생은 재염의 원인이 될 뿐만 아니라 생산단가에도 직접적으로 영향을 미치게 된다. 따라서 염료의 염색 특성이 비슷한 것을 선정하여 사용하여 할 필요성이 있다.

2.2.2 염료와 조제의 상용성

2.2.1에서 상용성이 좋은 염료들을 선정하였다 하여도 염색에 사용하는 조제가 염료의 흡착을 방해하거나 초기염착을 빠르게 하는 어떠한 상호작용 존재한다면 좋은 염색결과를 얻을 수 없다. 따라서 사용하는 염료에 적합한 조제를 사용할 필요가 있다. 이를 위해서는 염료와 조제간의 상호결합비를 측정하고 적절한 상호결합비에서의 염색을 실시한다. 염색도중에 일어날 수 있는 상호결합으로는 염료와 물, 염료와 섬유, 염료와 조제 등 여러 가지를 생각할 수 있는데, 이중 염료와 조제의 상호결합비를 구함으로써 적절한 조제의 농도를 찾아내어 조제의 낭비를 막는 것은 물론 최적 염색조건을 규명할 수 있다. 아래 그림4는 상호결합비를 측정된 결과의 예이고 그림5는 각 조제의 상호결합비에서 염색결과이다. 조제에 따라 염료의 흡착거동이 바뀔 수 있으므로 조제의 선정에 유의하여야 한다. 조제의 성정은 흡착

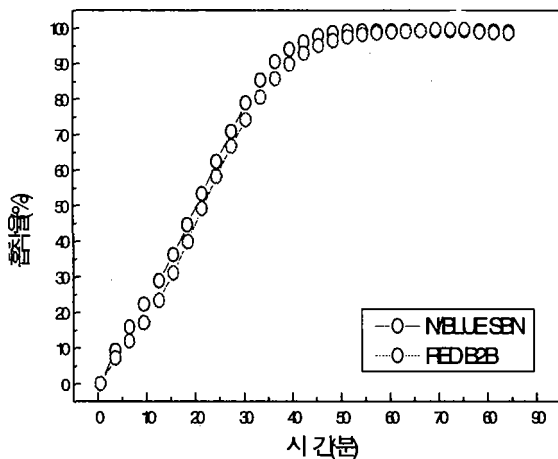


그림2. 상용성이 좋은 경우

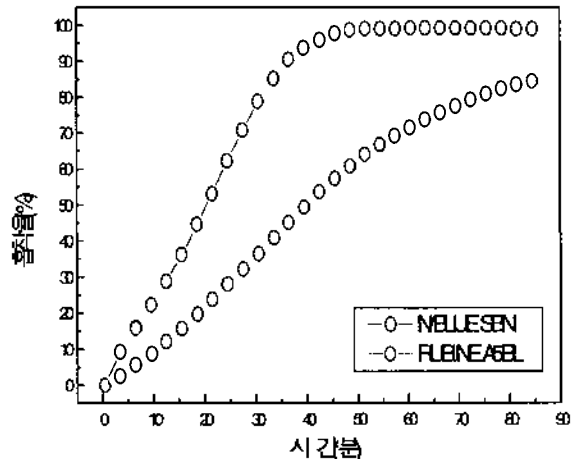


그림3. 상용성이 나쁜 경우

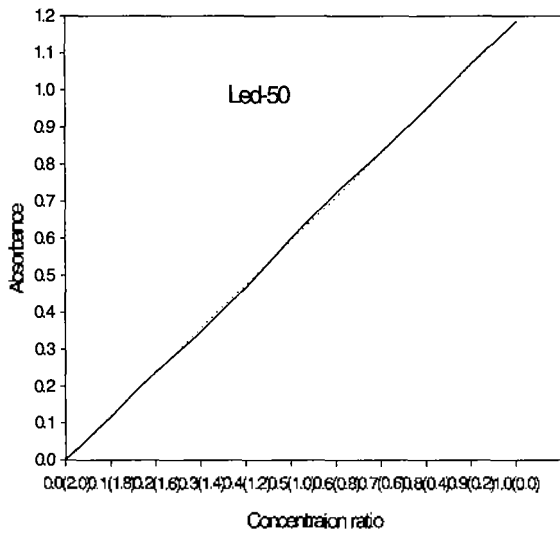


그림4. 상호결합비 측정

곡선에서 초기 염착속도를 늦추어 주면서 최종 염착량은 높일 수 있는 것을 택하여야 한다.

2.3 환경화학분석

대상업체에서 사용중인 원부자재와 공정별 발생 폐수의 환경성을 분석하여 수질오염에 대한 부하량에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2.3.1 원부자재

염료 및 조제의 수질 오염 평가를 위한 항목으로 TOC, CODMn, CODCr, BOD₅, TDS를 측정하였고 BOD₅ 대 CODCr비를 계산하여 평가 항목으로 사용하였다. BOD₅는 박테리아 작용으로 waste에 의해 5일간 소모되는 산소 소모량을 나타내는 항목으로 biooxidizable 물질이 수질 환경에 미치는 영향으로는 deoxygenation, anaerobic condition, 어류 독성, 냄새 발생 등이 있다. TOC(Total Organic Carbon), CODMn 및 CODCr는 유기 오염도를 측정하는 기본 항목으로 전자가 organic carbon parameter인 반면 후자 두 항목은 과망간산칼륨이나 중크롬산칼륨의 산화제로 산화될 수 있는 물질은 모두 같이 측정되는 항목이다. 섬유산업과 관련한 국제 규격에서는 수질 오염의 기본 평가 항목으로 TOC(Total Organic Carbon) 혹은 CODCr 두가지 중 한 항목을 택일하

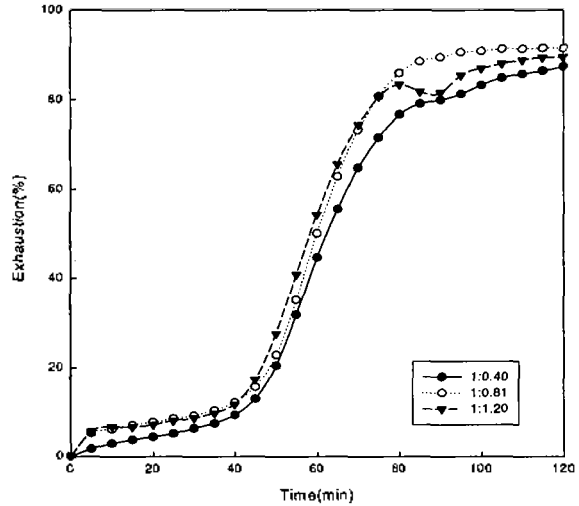


그림5. 조제에 따른 염색결과

여 사용하는 추세이나, 국내 환경부 규제 항목은 CODMn으로 되어 있어 본 과제에서는 세가지 항목을 모두 측정하였고 상관 관계를 분석하여 보았다. BOD₅ 대 CODCr비 계산값은 각 약제의 생분해성을 평가해 보는 항목으로 값이 클수록 생분해성이 좋다고 일반적으로 평가되고 있다. TDS(Total Dissolved Solids) 항목은 전기전도도 측정에 의하여 조제 내 존재하는 이온성 물질, 특히 무기 이온 물질의 양을 평가할 수 있는 척도가 된다.

평가방법으로는 TOC, CODMn, CODCr, BOD₅, TDS의 항목에 대하여 표2와 같은 방법으로 측정하였다. 공정 중에 사용된 염료 및 조제의 평가 항목을 측정하기 위하여, 분석 범위에 맞게 적정 농도로 희석이 필요하다. 조제의 경우는 부피비로 1000배 희석하고, 염료는 100 ppm (0.01%, 0.1 g/L) 농도로 분석액을 만들어 TOC, CODMn, CODCr, TDS의 항목을 측정한다. BOD₅는 초기 DO가 9~11 ppm이면서, 배양후 DO 변화는 40%~70%가 가장 적당한 범위이며, 이 범위에 들도록 시료를 희석한다. 부피비 1000배로 희석하여 측정된 raw data를 조제의 비중을 측정하여 다음 식을 이용하여 약제 1g/L 당의 BOD, COD, TOC, TDS 값으로 계산한다. 염료의 경우는 염료 1g/L의 오염 부하를 구하기 위하여 측정값에 10을 곱한다.

$$\text{COD}_{\text{calculated}} (\text{ppm} / (1\text{g chemical} / \text{L})) = \frac{\text{COD}_{\text{measured}} (\text{ppm} / (1\text{ml} / \text{L}))}{\text{density} (\text{g} / \text{ml})}$$

즉, 약제 및 염료의 수질 오염의 상호 비교를 위하여 희석배수를 곱하여 원액의 오염 부하로 계산하기 보다는, 약제 1g을 1L에 용해시켰을 때의 수질 오염값으로 환산하여 비교한다(단위: ppm/(g/L)). 이 단위는, 보통의 공정 처방이 약제 0.5 -10 g/ L의 범위에서 사용되므로, 약제로 인한 폐수 부하량도 가산하여 편리하게 예측할 수 있는 장점이 있다.

물질수지 분석에는 측정된 raw data로부터, 조제 및 염료 1kg 당의 오염 부하값으로 계산하여 사용한다.

$$\text{COD}_{\text{calculated}} (\text{mg} / \text{kg chemical}) = \frac{\text{COD}_{\text{measured}} (\text{mg} / \text{L}) \times \text{희석배수} (=1000)}{\text{density} (\text{kg} / \text{L})}$$

표2. 염료 및 조제 환경성 평가를 위해 측정된 항목 및 평가 방법

항 목	평가 방법
BOD ₅	5-day biological oxygen demand (BOD ₅), Part 5210 B, 수질환경오염 시험법
COD _{Cr}	Open Reflux-Titrimetric Method, K ₂ Cr ₂ O ₇ Part 5220 B, EPA Methods 5220C
COD _{Mn}	Open Reflux-Titrimetric Method, KMnO ₄ 수질환경오염 시험법
TOC	950℃ 연소 산화법, Combustion-IR detection Method Part 5310 B, TOC/TN Analyzer (Analyticjena AG, Multi N/C 3000)
TDS	TDS Meter (Jenway, Model 4076)

*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Ed. American Public Health Association, Washington, D.C., 1995.

2.3.2 공정폐수

공정 폐수 오염 평가를 위한 항목으로 TOC, COD_{Mn}, COD_{Cr}, BOD₅, TDS, SS, TN, 색도, pH를 측정한다. BOD₅는 박테리아 작용으로 waste에 의해 5일간 소모되는 산소 소모량을 나타내는 항목으로 biooxidizable 물질이 수질 환경에 미치는 영향으로는 deoxygenation, anaerobic condition, 어류 독성, 냄새 발생 등이 있다. TOC(Total Organic Carbon),

COD_{Mn} 및 COD_{Cr}는 유기 오염도를 측정하는 기본 항목으로 전자가 organic carbon parameter인 반면 후자 두 항목은 과망간산칼륨이나 중크롬산칼륨의 산화제로 산화될 수 있는 물질은 모두 같이 측정되는 항목이다. 섬유산업과 관련한 국제 규격에서는 수질 오염의 기본 평가 항목으로 TOC(Total Organic Carbon) 혹은 COD_{Cr} 두 가지 중 한 항목을 택일하여 사용하는 추세이나, 국내 환경부 규제 항목은 COD_{Mn}으로 되어 있어 본 과제에서는 세 가지 항목을 모두 측정한다. pH 항목은 섬유공정에서 빈번히 사용하는 산과 알칼리의 영향을 측정해 보기 위한 것으로, 산과 알칼리의 방류는 기존의 생태계 시스템을 파괴한다. TDS(Total Dissolved Solids) 항목은 전기 전도도 측정에 의하여 폐수 내 존재하는 무기 이온 물질의 양을 평가할 수 있어 섬유공정중 사용되는 무기염, 환원제, 산, 알칼리 배출에 대해 평가할 수 있는 척도가 된다. 색도(Color Density)는 특히, 염색폐수에서 중요한 평가 항목으로 COD 기준으로는 방류수 기준을 만족한 경우이라도 미관상 색상을 띠어 수질 오염이 크다고 생각될 수 있다. TN(Total Nitrogen)은 아질산성 질소, 질산성 질소 및 암모니아성 질소의 구분 없이 폐수 중 존재하는 총 질소의 양을 나타내는 항목이다.

표3. 공정 폐수의 환경성 평가를 위해 측정된 항목 및 평가 방법

항 목	평가 방법
BOD ₅	5-day biological oxygen demand (BOD ₅), Part 5210 B, 수질환경오염 시험법
COD _{Cr}	Open Reflux-Titrimetric Method, K ₂ Cr ₂ O ₇ Part 5220 B, EPA Methods 5220C
COD _{Mn}	Open Reflux-Titrimetric Method, KMnO ₄ 수질환경오염 시험법
TOC	850℃ 연소 산화법, Combustion-IR detection Method Part 5310 B, TOC Analyzer (Analyticjena AG, Multi N/C 3000)
TDS	TDS Meter (Jenway, Model 4076)
TN	TN Analyzer (Analyticjena AG, Multi N/C 3000)
SS	공업용수의 시험법 KS M0100:1998(제6-1), 수질환경오염 시험법
Color Density	UV/VIS Spectrophotometer (Hitach Japan, Model U3501) 공업용수의 시험법 KS M0100:1998(제10-1), 수질환경오염 시험법
pH	pH Meter (SCHOTT CG 837)

평가방법으로는 현장에서 채취한 폐수는 표3의 방법에 의해 각 항목을 측정하기 위해서 분석 범위에 맞게 적정 농도로 희석이 필요하다. TOC, COD 그리고 TN, TDS 항목은 공정 배수 원액은 100배 희석하여, 그리고 수세수는 희석없이 측정하여 희석배수를 곱해 원액으로 계산하고, pH, 색도, SS는 희석없이 시료 원액으로 측정한다. BOD₅는 초기 DO가 9~11 ppm이면서, 배양후 DO 변화는 40%~70%가 가장 적당한 범위이며, 이 범위에 들도록 시료를 희석한다.

2.4 물질수지분석

물질수지분석을 위하여 대상기업의 표준공정을 조사하고 각 공정별로 투입되는 원부자재 및 용수량을 파악하여 대상공정별로 표준처방을 작성하여 표4에 나타내었고 이것을 물질수지분석의 기초자료로 활용한다. 이때 사용 원부자재의 COD, BOD 등 환경부하량 기준값은 원부자재를 수거, 분석하여 얻어진 값을 적용하며, 원부자재의 투입량은 현장조사를

통하여 작성하고, 용수사용량은 설치된 유량계를 사용하여 실제 단위공정별로 측정된 양을 사용한다.

작성된 표준처방을 기준으로 각 단위공정별로 형상화하고 투입되는 원부자재 및 용수를 표기하는 한편 각 단위공정에서 배출되는 폐수를 표기하는 Precess Flow Diagram (PFD)를 작성하여 물질수지 분석에 사용되는 공정의 기초를 확립한다. PFD를 확인하게 되면 대상공정의 단위공정과 각 단위공정에서 투입되는 원부자재 및 용수, 그리고 단위공정에서 배출되는 폐수 현황을 한눈에 확인 할 수 있게 된다.

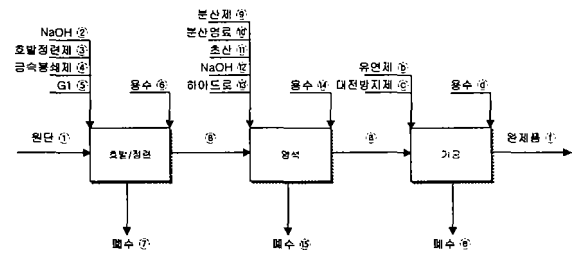


그림6. Precess Flow Diagram (PFD) 작성예

표4. 염색가공 공정의 표준처방 작성예

구분	공정	처방				성분 구분	환산사용량 (kg/원단100kg)	배출 특성							
		세부 단계	성분	단위	표준 사용량			배출 성분	배출율 (%)	신제 배출량 (kg)	BOD		COD _{Mn}		비고
											기준치 (g/kg)	기여치 (g)	기준치 (g/kg)	기여치 (g)	
연속 / 정련	호발 정련	NaOH	g/L	2	알칼리	2	알칼리	100	2	0	0	0	0		
		호발정련제	owf	2	조제	2	조제	100	2	100	200	50	100		
		이온분쇄제	g/L	1	조제	1	조제	100	1	0	0	0	0		
		물	LR	10	물	1000	물	100	1000	0	0	0	0		
							10	호제류	100	10	500	5,000	350	3,500	G1
							1	유제류	100	1	100	100	250	250	G1
							1	유기물	100	1	900	900	850	850	G1
레미드	염색	물	LR	20	물	2000	물	100	2000	0	0	0	0		
		분산제	owf	0.3	조제	0.3	조제	100	0.3	100	30	50	15		
		분산염료	owf	1.5	염료	1.5	염료	10	1.5	50	75	800	1,200		
		조산	g/L	0.3	산	0.3	산	100	1	760	760	74	74		
		물	LR	10	물	1000	물	100	1000	0	0	0	0		
레미드	환원 세정	NaOH	g/L	1	알칼리	1	알칼리	100	1	0	0	0	0		
		하이드로	g/L	2	환원제	2	염	80	1.6	0	0	80	128		
		물	LR	10	물	1000	물	100	1000	0	0	0	0		
텐터	가공	수지 처리	유연제	g/L	5	실리콘	0.5	유연제	10	0.05	100	5	100	5	
		대전방지제	g/L	5	조제	0.5	조제	10	0.05	100	5	100	5		
		물	LR	1	물	100	물	10	10	0	0	0	0		

3. LCA평가

3.1 전과정평가의 목적 및 적용범위

전과정평가의 주된 목적은 염색과 관련한 전체적인 산업분야가 공통적으로 지니고 있는 문제점인 고객의 요구 사양에 부합되기 위하여 재염을 실시하는데 따른 환경오염의 정도를 감소시킬 수 있는 가능성의 타진과 그에 따른 환경의 영향의 정도의 정량적 평가를 함이다. 이를 위하여 대상업체의 염색공정에서 현재 운영중인 제품생산과 관련한 제반의 현황 파악과 제품생산에 따른 환경상의 부하의 정도를 정확히 평가하여 대상기업이 가지고 있는 운영상의 강점과 취약점을 파악하고 이를 기초로 환경친화성의 부여가 가능한 분야를 파악함에 있다. 또한 밝혀진 운영상의 문제점을 기초로 개선이 가능한 분야를 선정하고 이에 따른 조치의 결과에 기인한 환경 개선의 정도를 전과정평가에 의하여 정량적으로 평가 및 분석한다.

표8. 전과정평가 단계별 요약

단 계	설 명
목적과 범위설정	- 연구의 목적설정 - 기능과 기능단위설정, 시스템경계, 데이터의 질 요건, 시스템간의 비교, 전문가 검토의 고려
전과정 목록분석	- 프로세스 흐름도 작성 - 데이터수집 및 계산절차
전과정 영향평가	- 분류 - 특성화 - 기중화
해석	- 완전성, 민감도, 일관성 점검 - 보고

적용범위는 대상업체의 각 가공공정으로 통한 최종제품인 염색 원료 공정까지로 정한다. 시스템 경계를 작게 설정한 이유는 섬유산업계 특히 염색업계 전반에서 사용하는 염료의 종류 및 각종 화학 약제의 종류가 다양함과 각각의 염료 및 약제들에 대한 전과정평가를 위한 데이터베이스가 존재하지 않음에 기인하여 전과정평가지 원부자재 자체는 포함시키지 않고 단지 생산공정중 반응에 의하여 생성되는 환경상의 오염부분만을 적용범위로 설정한다. 그리고 공정중에 투입된 용수의 사용량과 에너지를 평가에 포함시킨다. 에너지원은 전기, 가스, 스팀 및 벙커C유를 대상으로 한다. 수계에 대한 환경부하의 대상은

COD 및 BOD에 대하여만 취급한다. 그 이유는 각 공정 및 세부공정에 따른 수계의 영향에 대하여 오염의 정도가 주로 COD 및 BOD 측정으로 커버할 수 있었기 때문이다. 현장에서 사용된 전기에너지에 대한 데이터는 본 평가를 수행함에 있어 사용될 소프트웨어인 Simapro5.0내에 포함되어 있는 유럽의 평균값을 적용한다.

3.2 전과정 목록분석

본 평가를 위하여 대상업체의 다양한 생산 제품 중 각 기업에 있어 대표성을 지닌 공정을 선택한다. 대상업체의 현장에서 공정별에 따른 환경부하의 정도 및 각종 원부자재의 사용, 에너지 사용에 대하여 데이터를 수집한다. 목록분석의 정확성을 기하기 위하여 현장에서 샘플링의 기법에 기초하여 대표성을 지닌 시간대의 공정중의 공정수를 채취하여 공정상의 수질 오염의 정도를 분석하여 BOD 및 COD 값을 정한다. 또한 각 공정별의 폐수중에 포함되어 있는 수질오염의 대표격인 BOD 및 COD를 측정한다. 부유물질 등에 대하여는 특별한 의미를 부여하지 않으며, 공정중에 투입된 화학물질 및 염료 등에 대하여는 작업 지시서에 기초하여 실제 투입되는 양을 측정하여 기능단위에 기초하여 환산하여 목록분석을 실시한다.

공정중 환경에 중대한 영향으로 작용하는 에너지사용에 대하여 전기 사용량, 스팀사용량 및 가스사용량에 대하여 세부 공정별로 사용량을 측정한다. 특히 사용량의 정확성을 기하여 결론적으로 도출될 전과정평가의 실질적인 값으로의 도출 및 영향의 저감에 따른 공정의 개선의 정도 및 비용 절감 등의 값을 정확히 도출시키기 위하여 용수의 경우 유량계, 전기사용량의 경우 적산전력계 및 열량계 등을 주요 공정요소의 위치에 설치하여 공정 전체의 흐름 및 에너지 사용량을 측정한다. 다만 화학물질 및 염료에 대하여는 전과정평가의 도구로 시용이 가능한 정확한 데이터베이스가 준비되어있지 않아 단지 목록분석으로만 국한하여 진행한다.

3.3 영향평가

목록분석에 기초하여 영향평가를 실시한다. 영

향평가를 위하여 사용한 프로그램은 네덜란드의 라이덴 대학과 전과정평가 수행 기관인 PRE가 공동으로 개발하여 다양한 산업분야에 공통적으로 사용 중에 있으며, 경우에 따라 새로운 데이터베이스의 산출 및 공정의 변환 및 적용이 자유로운 장점을 지닌 Simapro 5.0에 기초하여 평가를 실시한다. 평가는 금번에 전과정평가를 실시하는 기업의 대표 제품의 생산공정에 기초하여 실시한다. 그 이유는 공정간의 기술적 및 관리적인 변경에 기초한 청정생산으로의 가능성을 타진함을 목적으로 함에 따라 공정을 대분류의 구분으로 정하여 진행한다.

목록분석단계에서 산출한 투입물과 산출물의 환경부하에 대한 자료를 설정된 환경영향의 범주별로 분류한다. 본 평가시 사용한 프로그램의 정의에 의거하여 목록 데이터를 다음과 같은 영향범주로 분류한다.

- greenhouse (온실효과)
- ozone layer (오존층파괴)
- acidification (산성화)
- eutrophication (부영양화)
- heavy metals (중금속오염)
- carcinogens (발암성)
- winter smog (동절기 스모그 현상)
- summer smog (하절기 스모그 현상)
- pesticides (살충제)
- energy resources (에너지 자원 고갈)
- solid waste (고형폐기물 발생)

SO₂는 산성화, CO₂는 지구온난화 등에 해당되어 배정되며 분류 작업의 목적은 분석에서 도출되는 다양한 항목들의 환경영향을 단순화하기 위한 공정으로서 예상되는 환경영향의 형태를 토대로 목록분석에서 도출된 항목 가운데 유사한 환경영향을 나타내는 항목들을 하나의 환경영향 범주로 모으는 과정으로 진행한다.

분류화 과정에서 세부영향 범주별로 구분된 항목들이 야기하는 환경영향을 특성화란 공정을 통하여 전과정평가를 위하여 설정된 단위 공정에 대한 세부영향의 적용 여부와 적용이 될 경우 각 공정이 차지하는 백분율을 정확히 파악하기 위한 공정이다.

특성화의 의미는 궁극적으로 최종의 영향평가를 실시하는 과정의 일부분이다. 특성화의 수행을 위하여 미리 설정되어 있는 영향범주 내에서 목록 데이터를 모델화하고 합산하여 세부 영향 범주별 환경영향을 정량적으로 산출한다. 지구온난화의 경우 CO₂가 1(equivalency factor) 단위만큼 영향을 미치는 것을 기준으로 하여 다른 배출물들이 지구온난화에 기여하는 정도를 계산해 낼 수 있다. 한국의 오존층파괴와 북극의 오존층파괴의 중요도는 사회적, 지리적 여건에 따라 달라질 수 있기 때문에 중요도에 대하여 기준값은 상이하게 적용되어야 한다. 가치평가란 각각의 영향범주들이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 고려하여 영향 범주별로 상대적 중요도를 결정하는 과정이다. 이 경우 각각의 영향범주에 대하여 중요도를 부여하고 이를 계산해 내는 단계로서 본 작업에서는 프로그램에 내재되어 있는 기준에 기초하여 평가가 이루어진다.

표9. 염색가공공정에 대한 분류상의 스코어 예

Impact category	Unit	Total	전처리-A	염색-1-A	염색-2-A	가공-A
Total	Pt	3.53	1.19	0.851	0.232	1.26
greenhouse	Pt	0.629	0.207	0.148	0.0428	0.232
ozone layer	Pt	0	0	0	0	0
acidification	Pt	1.62	0.533	0.381	0.11	0.597
eutrophication	Pt	0.225	0.103	0.0761	0.00716	0.039
heavy metals	Pt	0	0	0	0	0
carcinogens	Pt	0	0	0	0	0
winter smog	Pt	1.02	0.336	0.24	0.0696	0.377
summer smog	Pt	0.0298	0.00979	0.007	0.00203	0.011
pesticides	Pt	x	x	x	x	x
energy resources	Pt	0	0	0	0	0
solid waste	Pt	0	0	0	0	0

4. 문제점 및 개선방안 도출

진단결과 도출된 문제점을 경제적효과, 환경적효과, 투자금액, 파급효과, 투자회수기간 등을 종합적으로 고려하여 개선항목을 도출한다. 염색가공분야의 경우 작업공정, 사용 원부자재 및 공정 중 배출물질, 제품품질, 시설, 관리체계 및 상태 등 각종 현황의 조사 및 조사한 자료들의 분석, 평가 및 시험 등을 통한 진단 결과 청정생산 관련 문제점들을 영역별로

표. 문제점 도출 작성예

정련 불완전에 의한 염색 전의 열탕 수세에 의한 용수 및 에너지 낭비			
배경 및 문제점	- 전처리기에서 정련 불완전으로 염색 전 열탕수세나 정련을 다시 한번 하는 경우가 있는데 이로 인한 용수 및 에너지가 낭비되고 있음. - 부분적으로 정련 전후의 시료를 채취하여 정련성을 평가한 결과, 시료별 큰 차이가 발생하지는 않고 있어 지속적인 문제라기보다는 단속적으로 발생하는 문제로 판단됨.		
현재 손실비용	- 과잉 용수 사용량 : 15,000,000kg/년 × 0.02 × 10 = 3,000,000kg - 전기에너지 : 1,500회/년 × 200kwh × 1/6 × 85원/kwh = 28,560,000원/y (전체 생산량의 2%를 염색 전 재수세 하고 원단 1kg에 물10kg 사용하고 10분간 수세 한다고할 경우, 전기평균요금 85원/kwh)		
개선기술 설명	- 이 사항도 원인이 앞의 전처리기의 목조의 용수 교환 시기와 관련이 있을 것이므로 목조 용수 교환 시기를 조절토록 함.		
개선 기대 효과	경제적 기대 효과	- 용수 사용량 3,000,000kg 절감 - 전기에너지 : 200kwh × 0.65 × 7hr/d × 25d/m × 12m/y × 85원/kwh = 18,564,000원/y (현재 2대 최대 r.p.m운전시 소요동력 200kwh, 전기평균요금 85원/kwh 포함. 절감율 65%기준)	
	환경적 기대 효과	- 전기사용량 감소를 통한 환경개선 (전기 생산시 환경오염 발생) - 별도의 수세공정의 생략으로 폐수발생량 감소	
예상투자금액	-	투자회수 예상기간	즉시

나타낸다. 이때 도출된 항목에 배경 및 문제점, 현재 손실비용, 개선기술, 경제적·환경적 기대효과를 기재한다.

하여 해당 전문가들의 지도를 통하여 에너지, 공정, 원부자재, 관리부분 등으로 나누어 개선지도 실시하게 되는데 우선순위 선별은 인지평가기준, 가중치선정, 개선방안협의, 우선순위 결정으로 된다.

5. 개선활동

도출된 문제점 및 개선항목 중 우선순위를 선별

지도위원들 및 대상기업 관계자들의 의견을 종합하여 도출된 문제점들을 중심으로 사업기간 내에 시행할 시행과제와 여러 가지 사정으로 지금 당장은

표10. 인자평가기준표 작성예

점수	정성적 인자				점수	정량적 인자			
	적용 가능성	기술확보 용이성	지속 가능성	과급효과		투자비 회수기간	투자비 규모	원단위 절감	환경수치 개선
	%	%	년	%(타업체 적용범위)		개월	천원	%(에너지, 용수)	%(COD, BOD)
10	쉽게 적용 ↑ ↓ 적용이 곤란	취운 기술 혹은 기확보 기술 ↑ ↓ 고난도 기술 혹은 향후개발기술	10년 이상	타업체 모두 적용가능	10	즉시	-	25 이상	25 이상
9			8년-10년	80	9	1-2개월	1,000 미만	25-20	25-20
8			6년-8년	70	8	3-4개월	1,000-4,000	20-15	20-15
7			4년-6년	60	7	5-6개월	4,000-7,000	15-10	15-10
6			2년-4년	50	6	7-8개월	7,000-10,000	10-8	10-8
5			1년-2년	40	5	9-10개월	10,000-40,000	8-6	8-6
4			6개월-1년	30	4	11-12개월	40,000-70,000	6-4	6-4
3			3개월-6개월	20	3	1-2년	70,000-100,000	4-2	4-2
2			1개월-3개월	10	2	3-4년	100,000-200,000	2-0	2-0
1			일시적	타업체 적용불가	1	5년 이상	200,000 이상	변화없음	변화없음

어렵지만 추후에 적용하고자 하는 추후 개선과제 그리고 현재 대상기업의 여건상 적용이 곤란한 보류 등으로 분류하여 개선을 진행한다.

후에 기술지도를 실시하여 적용된 개선사항에 대하여 경제적 및 환경적 개선효과를 평가하고 해당

적용 내용에 대한 기술적 자문을 통하여 대상기업의 청정생산 체제를 확립하도록 기여하며, 해당 기술에 관련된 내용을 표준서로 작성하여 대상기업의 기술 수준을 향상시키고 향후 독자적인 청정생산체제를 구축한다.

표11. 평가요소가중치선정 작성예

평가위원	세부항목	정성적 인자				정량적 인자			
		적용 가능성	기술확보 용이성	지속 가능성	과급효과	투자비 회수기간	투자비 규모	생산 원단위 절감	환경수치 개선
평가위원 1		8	8	6	10	8	4	10	6
평가위원 2		9	6	6	10	6	2	10	4
평가위원 3		8	8	4	8	8	4	10	6
평가위원 4		8	6	4	8	6	2	8	6
평가위원 5		8	6	6	10	8	4	8	6
평균		8.2	6.8	5.2	9.2	7.2	3.2	9.2	5.6
가중치		8	7	5	9	7	3	9	6

표12. 우선순위결정 작성예

분류	문제점	개선방안	정성적 인자								정량적 인자								합계	우선순위
			적용 가능성		기술확보 용이성		지속 가능성		과급효과		투자비 회수기간		투자비 규모		원단위 절감		환경수치 개선			
			Mark	Score	Mark	Score	Mark	Score	Mark	Score	Mark	Score	Mark	Score	Mark	Score	Mark	Score		
공정	-탱터의 포온도 및 습도조절 미흡	-센서check 및 순환방식변경 -센서주변 cleaning	6	48	5	35	5	35	5	45	5	30	5	15	7	63	4	24	290	
"	-1,2tube Then염색기 수세과다	-수세시간 단축	6	48	8	56	9	45	8	72	9	63	7	21	10	90	6	36	431	
"	-4 tube Then 염색기 수세 불충분	-수세방식 변경 -수세시간 연장	4	32	7	49	8	40	6	54	3	21	2	6	8	72	7	42	316	
"	-염색기 pump 냉각수 방류로 용수낭비	-냉각수 회수탱크 설치	5	40	3	21	6	30	4	36	8	56	8	24	3	27	2	12	246	
"	-경련 불완전에 의한 열탕수세 추가로 용수 및 에너지 낭비	-용수교환시기 조정 -재부하 방지제 적용	4	32	5	35	9	45	8	72	3	21	1	3	9	81	6	36	325	
"	-가공제 서브탱크의 거품과다로 공정문제 발생	-소포제 적용 -저속 교반기 적용	5	40	7	49	6	30	7	63	9	63	8	24	9	81	3	18	368	
"	-염색 송은서 염색기마다 송은속도 차이발생	-보일러 증선 -염색기 작업시간 조정	8	64	7	49	6	30	7	63	5	35	6	18	7	84	4	24	346	
"	-패당조의 가공제를 방류하여 폐수비용 및 사용량 증가	-가공제 탱크 추가설치	4	32	5	35	3	15	4	36	8	56	7	21	5	45	3	18	258	
"	-연속수세기의 정확한 급수량 파악이 곤란	-누적수량계 추가 설치	4	32	3	21	4	20	6	54	8	56	8	24	5	45	3	18	270	
"	-연속수세기 용수교환시기 불명확	-pH 매일 조사하며 용수교환시기 조정	4	32	5	35	7	35	6	54	4	28	3	9	8	72	2	12	277	

6. 개선전후 비교

위에서 열거한 세부절차에 따라 진단지도를 실시하고 개선후 물질수지분석, 에너지수지분석, 기타 재염을 분석과 환경전과정 평가를 통해 환경적, 경제적 효과를 비교분석한다.

경제적 개선효과를 달성하여 대상업체의 발전을 기대할 수 있으리라 생각한다.

감사의 글

이 논문은 2001년 산업자원부에서 청정생산기술(진단지도)사업의 일환으로 추진되었으며, 사업비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

III. 결 론

본 연구를 통해 염색가공분야에서도 공정, 원부자재, 에너지 및 관리시스템 등 청정생산과 직결되는 여러 요소들을 각 분야별 전문가들이 현황파악 및 분석, 문제점 도출 및 개선방안 제시, 개선활동 및 효과에 대한 평가 등을 통해 강화된 청정생산체제를 구축할 수 있으며, 제시된 청정생산기술의 방법론의 절차대로 진행된다면 타산업에 비해 용수사용량이 많고 수질오염비중이 큰 염색가공분야에서도 환경적,

참고문헌

1. 섬유·염색산업의 청정생산기술개발 및 보급을 위한 중장기 비전수립, 산업자원부, 2000. 12
2. 염색공장에서 에너지 절감을 위한 현황분석 및 공정개선 방향수립에 관한 연구, 산업자원부, 2002. 5

표13. 경제적 환경적 효과 작성예

분류	문제점	개선내용	개선 효과		투자비용	투자 회수기간	비고
			경제적 효과	환경적 효과			
공정	Then 염색기의 수세시간 및 방법 재조정 필요 (용량에 따른 수세 효율 상이)	-수세시간 단축 -수세방법 변경	27,400천원/년	폐수발생량 감소	-	즉시	
	가공제역에 거품다량발생하여 가공제 소요량 증가와 작업성 악영향	-소포제 사용 -저속교반기 사용 -망글압력 증가	70,800천원/년	폐수부하량 감소	5,000천원	1개월	
원부자재	재염율이 높음	-염료 상용성 평가 -원부자재 성능평가 -관리 표준화 (ISO 9000, 14000 심의중)	100,000천원/년	폐수발생량, 부하량 감소	20,000천원	2.5개월	재염율 4% 감소 (13%→9%)
	분산관염제의 환경 부하량 파다	-품목별 분산관염제 투입억제	2,000천원/년	폐수부하량 감소		즉시	농색위주 적용
에너지	에너지 사용량 파다	-단열시공 (염색기 등) -염색폐수 열교환기 설치 -실린더건조기 사이폰관 점검 -Net Dryer 배기습도 자동조절 -수세1호기 wet-on-wet 적용 -스팀누출 방지 -실린더 건조기 표면온도 감소 -염색기 용축수 탱크 수위조절 -텐터내부 센서 교정	16,000천원/년 302,000천원/년 520천원/년 42,000천원/년 58,000천원/년 26,000천원/년 1,100천원/년 28,000천원/년 6,500천원/년	대기오염 억제	72,200천원	2개월	총경제적효과 480,120천원/년
∴ 개선전후 대비 - 용수 7% 절감, 에너지 17% 절감, 원부자재 3% 절감, 환경부하량 6% 감소							