

날염 제품의 전과정평가 및 활용

서창석, 박직환, 김경신, 안중우

(유한킴벌리㈜ 환경경영연구소)

Life Cycle Assessment on Textile Printing Products and Its Applications

ChangSeok Suh, JikHwan Park, KyungShin Kim, JoongWoo Ahn

(Yuhan-Kimberly Co. Ltd)

ABSTRACT

This is the summary of the result in a comparative life cycle assessment between digital textile printing(DTP) and conventional textile printing from raw material acquisition to strike-off sample manufacturing which is to find quantified environmental impact of the product and its strategic applications. In this study, a strike-off sample was selected which satisfies over 4 grade fastness quality with original design. Site-specific data were obtained either by actual measurement or by calculation or by data base of worst case was used when it was impossible to get site-specific data. This study considered nine impact categories: resource depletion, global warming, ozone depletion, acidification, eutrophication, photochemical oxidant creation, human toxicity, aquatic eco-toxicity and terrestrial eco-toxicity, and characterization results on the impact categories were analyzed. As the result, environmental burden of DTP is less in the range of 1/5 to 1/126 than that of conventional printing. This study will be utilized to provide environmental information of the product to consumers and customers and to establish the strategies for internal and external purposes such as environmental report and DfE.

Key Words: Digital Textile Printing, Conventional Printing, Comparative LCA, Strike-Off sample, Nano Ink

요약문

본 논문은 유한킴벌리(유)에서 수행한 디지털날염과 기존날염에 대하여 원료채취부터 S/O(strike-off) 샘플제작까지의 Cradle to Gate 전과정평가 결과와 그 전략적 활용방안에 대해서 요약한 것이다. 전과정평가의 대상은 동일한 디자인에 대하여 견뢰도 4급 이상의 품질을 보장하는 1 S/O 샘플(0.6678 m²) 제작시스템으로 선정하였다. 데이터는 현장데이터를 위주로 실측과 계산을 통해 수집하였으며, 현장데이터의 수집이 어려운 경우 최악의 경우로 간주한 데이터베이스를 활용하였다. 목록분석을 거쳐 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 부영양화, 광화학산화물생성, 독성(인간, 수계, 지상) 등 9개의 영향범주 등 특성화 결과만 분석하였으며, 데이터의 완전성, 접근방법론의 일관성, 데이터에 대한 민감도분석을 수행하였다. 비교 전과정평가결과 대상 영향범주에 대하여 디지털날염의 환경영향이 기존날염에 비해 1/5 ~ 1/126 정도로 우수하게 평가되었다. 본 비교 LCA 결과를 대외적으로는 각종 매체를 통하여 정량적으로 평가한 디지털날염의 환경적 우수성을 알리고, 대내적으로는 환경친화적인 나노 잉크 개발 등 DfE 에 활용할 수 있는 전략적 방안에 대해서 논하였다.

주제어: 디지털날염, 기존날염, 비교 전과정평가, S/O 샘플, 나노 잉크

I. 서 론

유한킴벌리(株)는 가정용품, 유아용품, 여성용품, 성인용품, 환경용품, 디지털날염 등 소비자와 직접 접촉하는 생활용품을 생산하고 있다. 그러므로 소비자의 위생안전뿐만 아니라 제품환경성은 더욱더 중요하게 취급되고 있음은 두말할 필요가 없을 것이다. 그 동안 유한킴벌리(株)는 제조공정에서의 환경부하를 줄이기 위한 노력을 꾸준히 진행하였고 국가 환경보호운동에도 많은 노력을 기울였으나 이에 만족하지 않고 제품에 대한 환경성 평가를 진행하였고 이를 바탕으로 제품의 환경성 개선에 대한 노력을 지속적으로 추진하고 있다.

이런 연유로 화장지 및 디지털날염에 대한 전과정평가를 실시하였고 현재는 안양 및 김천 공장의 소각로에 대한 전과정평가를 실시 중에 있다.

또한 염색은 섬유산업에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며, 정밀화학, 기계, 에너지, 전자 및 환경 등 관련산업을 포괄하므로 기술적으로 파급효과가 매우 크다. 특히 염색공정의 경우 다량의 물과 여러 화학약품을 사용해야 하기 때문에 필연적으로 다량의 폐수를 배출하게 된다. 따라서 선진국에서는 이미 오래 전부터 청정기술 및 폐수처리에 대한 국가적인 차원에서 많은 투자가 이루어져 왔고, 국내에서도 환경에 대한 인식의 고조로 인해 이에 관한 관심이 높아지고 있는 실정이다. 디지털날염은 기존날염에 비하여 컴퓨터 기술을 응용한 배색 시뮬레이션 시스템과 밀그림 필름의 제작을 행하는 자동 도면 시스템, 판을 사용하지 않고 직접 원단에 날염을 행함으로써 환경친화적인 제품으로 인식되지만, 과연 정량적으로 얼마만큼의 환경부하가 저감되는지를 평가하였으며 날염용 잉크의 연구 개발 진행사항들을 소개하고자 한다.

II. 날염시스템의 비교 전과정평가

1. 디지털날염(Digital Textile Printing: DTP) 제조공정

디지털 날염이란 디자인에서부터 날염까지의 공정

을 완전히 디지털화함으로써 잉크젯 프린트를 이용, 무 필름, 무 제판으로 날염하는 방식이다. 즉 제품설계, 색상조정, 염료배합 과정이 모두 디지털 방식으로 관리되므로 디자이너가 의도한 대로 좁은 공간에서 다양한 원단, 색상과 정밀한 무늬를 자유롭게 표현하고 유지하는 것이 가능하고, 또한 작업한 디자인의 데이터 보관 및 관리가 용이하며 필요한 원단분량만 정확하게 출력할 수 있다. 기존 날염 및 디지털 날염의 공정을 비교하기 위하여 각 공정에 대한 비교표를 작성하여 [Fig. 1]에 나타내었다.

Fig. 1 기존날염 및 디지털날염 공정비교표

Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 기존 날염 공정은 디자인 샘플 제작 시 필름 및 스크린제작 등 많은 공정과 장시간이 소모되는 반면, 잉크젯 날염 시스템은 디지털 방식에 의해 색상 및 디자인 변경을 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라 재판에 의한 날염공정으로는 불가능한 미묘한 색조표현이 가능해 다양한 디자인을 단기간에 처리할 수 있는 장점이 있다.

2. 연구의 목적 및 범위 설정

2.1 목적 정의

(1) 연구 수행이유

DTP 시스템 전과정에 대한 총체적이고 정량적인

환경성을 평가하여 그 결과를 바탕으로 내부 개선에 대한 아이디어를 획득하는 한편 디지털 날염시스템의 환경성을 입증할 수 있는 근거자료로서 활용하고, 환경 친화적인 제품 개발 등 추후 관련 연구에서의 기반 인프라 데이터로서의 가치를 가질 것이며 본 연구에 참여한 인양공장 전과정평가팀을 비롯한 생산 및 개발부서 등 전과정평가 전문 인력 양성의 기회로 삼기 위함이다.

(2) 대상 청중

전과정평가 연구 결과가 전달될 대상은 회사 내부의 경영진, 사원, 회사조직(커뮤니케이션, 마케팅, 제품개발, 생산, 환경……), 이해관계자(정부 기관, 학계, 연구소, 기존 날염 업체, 디자인 및 의류 업체, DTP 사용자 및 잠재적인 녹색 소비자 및 단체) 등이 될 수 있다.

(3) 결과의 활용방안

환경 위해성 감소와 자원 사용 감소 등 환경 친화적인 제품 개발을 위한 공정간 비교 분석과 국가 청정 기술로의 공인된 결과를 도출하여 이해 관계자에 대한 홍보 및 사업 전략에 활용하며, 기업 환경 보고서 작성 및 DfE(Design for Environment)에 활용하고자 함이다. 또한 추후 환경성 데이터를 바탕으로 경제성, 안전성, 사용자 편의성 등 DTP가 가지는 경쟁 우위 요소와 함께 마케팅 전략 수립에 활용하게 될 것이다.

2.2 디자인 선정

본 비교연구를 위한 디자인 선정기준은 두 날염시스템의 동등한 비교가 가능한 디자인으로서 현장데이터 신뢰성 확보를 위해 3개의 디자인을 선정하였다. 디자인 선정결과는 [Table 1]에 표시하였다. 디자인 선정 기준은 연구목적 및 범위정의 단계에서 정의한 기준에 부합하였다.

Table 1. 디자인 선정결과

	디자인빈도	색도	원단
1차 S/O	낮음	13	Cotton Sheeting, CD20 x CD20, 60x60, Plain
2차 S/O	높음	15	Cotton Poplin, CM40 x CM40, 136x72, Plain
3차 S/O	중간	13	Cotton Poplin, CM40 x CM40, 136x72, Plain

2.3 기능 및 기능단위, 기준호름

Table 2. 기능 및 기능단위

기능	B/W (Bleached White) 원단에 이미지를 날염
기능단위/ 기준호름	동일한 디자인을 디지털날염시스템과 기존날염시스템 설비를 사용하여 0.6678m ² (0.62m x 1.077m)의 S/O (Strike-off) Sample을 프린트하여 견뢰도 4급 이상의 품질을 보장하는 날염제품 생산

견뢰도 테스트방법: color fastness 일광/AATCC 16-2, 세탁/AATCC 61, 마찰/AATCC 8 AATCC American Association of Textile Chemists and Colorists)

2.4 초기 시스템 경계 설정

디지털날염 및 기존날염의 샘플 생산을 위하여 투입되는 물질채취, 수송, 제품제조 전과정 단계를 초기 시스템 경계로 설정하였다.

2.5 데이터 범주

제품제조단계에서 각 단위공정 별로 수집될 데이터 범주에는 에너지, 원재료/보조물질, 제품/반제품, 대기배출물, 수계배출물, 공정폐기물 등이 있다. 이들 6개 데이터 범주를 대략적으로 규명하면 다음과 같다. 모든 데이터의 단위는 kg을 사용하였으며 전기의 경우만 그 특성을 고려하여 MJ단위를 사용하였다.

• 에너지

에너지 범주에는 제품제조공정에 사용되는 전기와 스팀이 포함되며, 수송 시 수송수단의 동력원으로 사용되는 경우, 디젤, 등유가 이에 포함된다.

• 원료물질/보조물질

디지털날염시스템의 원료 및 보조물질에 속하는 물질들은 원단과 코팅제 그리고 잉크로 크게 분류될 수 있으며, 기존날염시스템의 원료물질로는 원단, 염료와 호료가 있으며 보조물질에는 스크린을 제작하기 위한

sheer와 필름, 카슈, 포리졸, 감광제, 초배지 등이 있으며 이외에도 쉐트지 등의 물질들이 속한다.

• 제품/중간 반제품

제품은 두 날염시스템 모두 S/O Sample이며, 중간 반제품은 각 단위공정 별로 생산되는 반제품들이다. 기존날염시스템의 반제품은 Film, Screen, Confirmed Screen, Printed Fabric, Steamed Fabric, Washed Fabric이 있으며, 디지털날염시스템의 반제품은 SM File, Coated Fabric, Printed Fabric, Steamed Fabric, Washed Fabric이 있다.

• 대기배출물

날염시스템에서는 스팀 사용에 따른 vapor 이외의 대기배출물이 발생하지 않는다.

• 수계배출물

두 시스템 모두에서 발생하는 수계배출물은 각 단계에서 발생하는 폐수 내에 포함되어있는 TSS, COD, BOD, Copper, Lead, Toluene, Phosphate, Nitrate 등이 있다.

• 고형폐기물(폐기/재생)

공정 잔여물은 S/O 제작단계에서 발생하는 것으로 디지털날염시스템에서는 코팅 및 프린트 시 발생하는 원단의 잔여물과 잉크포장재 등이 있으며, 기존날염시스템에서는 스크린 및 S/O 제작 시 발생하는 잔여물과 포장재가 있다.

2.6 데이터 품질요건

데이터의 필수적인 품질 요건인 시간적 범위, 지역적 범위, 기술적 범위를 전과정에 대하여 설정하였으며, 결과의 해석단계에서는 일관성과 완전성 등을 중심으로 데이터 품질평가를 수행하였다. 위에서 정의한 데이터범주들에 대해 각 단위공정에 사용된 데이터의 품질요건은 다음과 같다.

2.7 할당

디지털날염과 기존날염 비교에서는 할당에 대한 특

Table 3. 데이터 품질요건

구분	물질채취 및 제조단계	수송	S/O 제작단계
시간적범위	2차 데이터 물질 채취 및 제조	1차 데이터 수송거리 수송수단 수송량 2차 데이터 수송수단별 환경영향 연료의 채취 및 제조	1차 데이터 S/O 제작 단계의 부입산출량, 폐수처리데이터 2차 데이터 전기, 용수, 스팀제조
	1차 데이터 2002년 5월 1일 ~ 2003년 3월 11일 2차 데이터 1990년 이후 최신데이터 단 Ink, Urea, Diethylene Glycol은 제외		
지역적범위	전세계	미국, 중국, 일본 → 한국 한국 → 인양, 안산	현장데이터
기술적범위	해당산업의 대표기술	해당산업의 대표기술	특정산업의 현 기술

*1차 데이터: 현장데이터, 2차 데이터: 일반데이터(국가 및 외국데이터)

별한 이슈는 발생하지 않았다.

2.8 영향범주 및 특성화 방법론

전과정 목록분석 단계에서 도출된 목록항목 들에 대하여 국제적으로 공인된 영향평가 방법론이 존재하는 환경영향범주, 전세계적으로 전과정 평가 연구에서 많이 고려되는 환경영향범주, 국제적으로 공인된 영향평가 방법론은 없지만 국내 또는 회사정책상 중요하게 고려될 수 있는 환경영향범주, 국내 환경성적표지 제도에서 고려하고 있는 환경영향범주로서 무생물 자원 고갈, 지구 온난화, 오존층 파괴, 산성화, 광화학 산화물 생성, 부영양화, 인간 독성, 수계 독성, 지상 독성 등을 선택하였다. 특성화 방법론은 9가지의 영향범주를 고려하여 상응인자 모델을 사용하였다.

2.9 가정 및 제한사항

- 제품제조 단계의 데이터 완전성은 100%로 하였으나, 보조 물질(약품)의 경우, 일부 약품 업체에서 회사 정책상 외부 공개가 불가능하여 데이터를 제공 받을 수 없는 경우도 있었다. 즉 염료 및 염료잉크 등은 구성 성분을 공개하지 않아, 일반적인 데이터를 사용하였다.
- 데이터 범주에 따라 모든 환경 투입/산출물은 기존날염 및 디지털날염 샘플생산 시 실측 데이터를 사용하고, 실측이 불가능한 것은 계산 및 추정치를 하되 반드시 그 계산 절차를 명기하는 것을 원칙으로 하였다.
- 영향 범주는 ISO에서 권고하는 방법론, 전세계적으로 많이 사용되는 방법론, 전과정평가 S/W

에서 지원하는 방법론, 회사 정책상 고려하고 있는 영향 범주를 고려하여 최종 선택되도록 하였다.

- 해양수송의 경우, 해양수산부에 발간한 '해상거리표'를 사용하였고, 비행기수송은 항공사에 문의하여 거리를 적용하였다.
- 국내수송의 경우, 회차 시 공차로 돌아갈 경우와 만차로 돌아갈 경우, 다른 곳을 들렀다가는 경우 등 다양성으로 인한 추적이 불가능하기 때문에 회차를 고려하지 않는 것으로 가정하여 각 납품업체에서 안양 디지털날염 공장까지의 거리 및 기존날염은 안산 기존날염 공장까지의 거리를 적용하였다.
- 연구대상 시스템에서도 언급하였듯이 두 시스템의 설비의 제조 및 폐기에 관한 사항은 연구범위에 포함하지 않았다.
- 두 날염시스템에서 발생하는 폐수는 폐수처리장을 통해 자연으로 배출되므로 폐수처리장 데이터와 이후 폐수성분데이터를 활용해야 한다. 이 때는 폐수의 양과 성분을 기준으로 정확한 할당이 이루어져야 하지만, 관리되는 데이터의 한계상 단순 질량기준으로만 할당이 가능하며 두 날염시스템의 폐수의 차이가 거의 없어지게 된다. 따라서 본 연구에서는 폐수처리장을 고려하지 않고 시스템에서 발생하는 폐수의 성분데이터를 활용하였다. 단, 추후 이러한 한계에 의한 연구 신뢰성을 확보하기 위하여 폐수처리과정 D/B를 적용하여 민감도분석을 수행하였다.
- 기존날염시스템의 경우 1개의 S/O 샘플을 생산하면서 여러 요인에 의해 불필요한 반복생산이 이루어지는 경우가 있다. 색의 배합이나 스크린의 문제로 반복생산이 되기도 하며, 고객의 요구에 의해 이루어지기도 한다. 따라서, 정확한 연구를 위해서는 자체적 문제로 인한 불량률을 고려해야 하지만, 불량률을 원인 별로 명확하게 구분하기 어려우며 디지털날염시스템이 아직 충분한 데이터가 축적되지 않아 동등한 데이터를 적용할 수 없었다. 또한, 불량률 수치는 작은 오차로도 연구 결과에 큰 차이를 보일 것으로 예상되어 본 연구에서는 반영하지 않았다. 따라서 기

존날염의 입장에서 best-case 시나리오라고 볼 수 있다.

- 색상 표현(Color Matching)의 경우 S/O제작 시 중요하게 평가되는 부분으로서 날염시스템의 품질을 보정하는데 중요한 인자라고 할 수 있다. 그러나 공인된 측정방법이나 절차가 없으며, 대부분 실제 S/O를 주문한 고객이 주관적으로 색상 표현의 품질을 판단하고 있기 때문에 두 날염시스템의 색상 표현 측면을 기능단위에 포함할 수 없었다. 추후 두 날염시스템에서 합의된 타당한 평가 방법이 개발될 경우 이에 대한 결과를 반영할 계획이다.

3. 전과정 목록 분석

3.1 초기 데이터 수집

초기 데이터는 기존날염시스템과 디지털날염시스템의 생산, 구매 및 재무 팀으로부터 자료와 현장데이터, 샘플제작 시 실측 및 외부공인기관에 의뢰하여 분석하였다. 이를 근거로 규명된 디지털날염 및 기존날염의 S/O 생산에 관련된 물질의 투입 및 산출물 데이터를 선별하였다. 주로 초기 데이터 수집단계에서는 시스템으로 투입되는 물질 및 양에 관한 데이터 수집에 초점을 맞추었다.

3.2 투입물 분석

초기 데이터 수집에서 얻은 데이터를 이용하여 시스템 경계 설정을 위한 투입물 분석을 하였다. 이때 투입물은 공정에 투입되는 물질이며, 공정 내 중간 반제품은 제외하였다. 또한, 투입물의 질량기여도를 조사하여 Upstream의 경계를 설정하였다.

투입물 분석을 위해 2002년 5월부터 2003년 3월 기간 동안 이루어진 S/O 제작에 투입된 물질 사용량을 기존날염시스템과 디지털날염시스템의 생산 팀으로부터 자료와 현장데이터, 샘플제작 시 실측으로 샘플 생산과 관련된 데이터를 선별하였다.

[Table 4]와 [Table 5]의 투입물량은 두 날염시스템에서 구현 가능한 특정 디자인을 0.6678m² 크기

의 원단에 S/O를 제작하는데 투입된 물질의 양이다.

투입물의 질량 기여도 분석표에 의한 기존날염 샘플생산과 직접 관련된 물질은 총 44개로 나타났으며, 디지털날염 샘플생산과 관련된 물질은 총 9개로 나타났다. Cut-off criteria는 본 연구가 두 날염시스템의 비교를 목적으로 하고 있으며, 두 날염시스템의 차이를 고려하여 제외하는 물질이 없이 모든 투입물을 고려할 수 있도록 100%로 설정하였다.

Table 4. 디지털날염 투입물 분석표

Table 5. 기존날염 투입물 분석표

제품과 직접적으로 관련이 없는 전기와 용수는 투입물의 질량 기여도 분석에 포함시키지 않았다.

4. 영향평가

4.1 각 영향범주 별 특성화 결과

전과정영향평가는 연구의 목적 및 범위정의에서 정한 9가지 영향 범주에 대하여 수행하였으며 [Table 6]에 요약하였다. 각 영향범주간 상대평가는 될 수 없으나, 디지털 날염과 기존날염에 대한 비교 전과정 평가 수행 결과 각 영향범주에 있어 DTP의 환경영향이 기존날염에 비해 1/5 ~ 1/126 정도로 우수하게 평가되었다.

Table 6. 각 영향범주 별 1, 2, 3 차 특성화 결과

영향범주	DTP 1st*	기존날염 1st*	DTP 2nd**	기존날염 2nd**	DTP 3rd***	기존날염 3rd***
지구온난화(kg CO ₂)	7.88E-01	5.93E+01	8.50E-01	6.84E+01	7.96E-01	5.93E+01
산성화(kg SO ₂)	4.29E-03	5.41E-01	4.55E-03	6.24E-01	4.31E-03	5.42E-01
영양화(kg Phosphate)	5.31E-03	7.55E-02	5.41E-03	1.09E-01	5.40E-03	9.35E-02
광화학산화물(kg C ₂ H ₄)	6.59E-03	1.16E-01	6.69E-03	1.32E-01	6.57E-03	1.16E-01
오존층파괴(kg CFC11)	7.56E-08	6.91E-07	9.70E-08	8.63E-07	7.95E-08	7.09E-07
사린고갈(kg antimony)	9.57E-03	3.78E-01	1.02E-02	4.35E-01	9.67E-03	3.78E-01
인간독성(kg 1,4-DCB)	9.87E-02	1.43E+00	1.24E-01	1.74E+00	1.03E-01	1.44E+00
자상독성(kg 1,4-DCB)	2.35E-05	3.44E-04	2.43E-05	3.95E-04	2.36E-05	3.45E-04
수계독성(kg 1,4-DCB)	1.80E-01	9.18E-01	1.83E-01	6.80E-01	1.73E-01	2.74E-01

<* 13도 색상의 연한정도 ** 15도 색상의 진한정도 *** 13도 색상의 보통정도>

4.2 디지털날염의 수송물질 별 환경영향

환경이슈로 도출된 항공수송의 물질별 기여도를 분석해 보면, 요소가 가장 큰 영향을 미치며, Surfactant와 NaHCO₃ 그리고 잉크의 순서로 기여한다.

5.1 주요 환경 이슈의 규명

디지털날염시스템의 영향범주 별 환경이슈는 다음과 같다.

- 자원고갈의 경우 물질제조단계와 S/O제작단계 순으로 높게 나타났으며 그 원인은 원단과 전기에 의한 Natural gas와 Hard coal에 의한 영향이 대부분인 것으로 조사되었다.
- 지구온난화의 경우 이산화탄소가 원인 물질이었으며 S/O제작 단계의 전기 제조에 의한 영향이 가장 높게 나타났으며, 그 다음이 물질제조단계의 원단으로 인한 영향으로 나타났다.
- 오존층파괴의 경우 99.9% 이상이 Halon1301에 의한 것으로 조사되었으며 이는 수송단계의 항공수송에 의한 것으로 조사되었다.
- 산성화의 경우 대부분의 환경영향은 SO2와 NO2에 의한 것으로 조사되었으며 물질제조단계의 원단과 S/O제작단계의 전기에 의한 것으로 조사되었다.
- 부영양화의 경우 대부분의 환경영향은 Nitrate와 Phosphate에 의한 것으로 조사되었으며 물질제조단계의 원단에 의한 것으로 조사되었다.
- 광화학적산화물 생성의 경우 원단에 의한 VOC 발생이 원인인 것으로 조사되었다.
- 인간독성의 경우 물질제조단계의 원단과 수송단계의 항공수송에 의한 PAH가 원인인 것으로 조사되었다. 이 밖에도 Dust와 NO2, 니켈 등이 영향을 미치고 있다.
- 지상독성의 경우 물질제조단계의 원단에 의한 바나듐 과 수은에 의한 것으로 조사되었다.
- 수계독성의 경우 대부분의 영향은 물질제조단계의 원단에서 발생하는 Nickel이 그 원인인 것으로 조사되었다.
- 각 영향범주별 특성화물 수행한 결과 물질제조단계의 원단과 S/O제작단계의 전기, 수송단계의 항공수송이 주요 원인인 것으로 조사되었다.
- 디지털날염시스템의 환경이슈로 도출된 항공수송의 물질별 기여도를 분석해 보면, 요소가 가장 큰 영향을 미치며, surfactant와 NaHCO3 그리

Fig. 2 디지털날염의 원단 제외한 수송물질 별 영향

4.3 디지털날염의 공정별 전기 영향

디지털날염시스템의 환경이슈로 도출된 S/O 제작 단계의 전기의 공정 별 기여도를 분석해 보면, CAD/SM 공정이 가장 많은 전기를 소비하며, coating, printing, steaming, washing, drying 공정순서로 기여한다.

Fig. 3 디지털날염의 원단 제외한 공정 별 전기영향

5. 전과정 해석

LCI (Life Cycle Inventory) 결과와 LCIA (Life Cycle Impact Analysis) 결과를 바탕으로 주요 환경이슈를 규명하고 (Dominance Analysis) 연구 초기에 수립한 연구 목적 및 범위에 부합하는지 분석하고 데이터의 완전성 및 민감도 분석, 방법론에 대한 일관성 점검 등을 통하여 연구결과의 신뢰성을 확보하였다.

고 잉크의 순서로 기여한다.

연구가 비교 전과정평가라는 점에서 데이터의 완전성 및 접근방법론의 일관성은 연구결과의 신뢰성을 확보하기 위해 필수적인 요소가 될 것이다.

데이터의 완전성, 접근방법론의 일관성을 파악해보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다

5.2.1 데이터의 완전성

완전성은 본 연구 대상제품시스템에 포함된 설비내지는 제품생산량이 전체를 고려할 수 있는지를 정량적으로 나타낼 수 있는 항목이다. 이 항목은 연구목적에 맞게 데이터가 수집되었으며 대표성을 가지고 있는지를 판단할 수 있도록 해주는 지표로서, 데이터의 질을 점검하기 위한 목적을 갖는다. 우선 두 날염시스템을 이용한 S/O제작 시 필요한 모든 물질에 대한 데이터를 수집하고자 하였으며 내부공정의 경우 현재 운전 중인 두 날염시스템 현장에서 데이터를 수집하였다. 뿐만 아니라 각 물질에 대한 해양 및 항공, 육로 수송을 모두 고려하였다.

두 날염시스템에 대한 비교 전과정평가임을 감안하여 내부 단위공정에 대한 데이터범주 표를 개발, 데이터 누락이 없도록 교차 점검하였다.

5.2.2 접근 방법론의 일관성

본 연구에서는 데이터의 품질요건, 데이터수집방법, 데이터범주, 데이터계산방법 등 접근방법론의 일관성을 추구함으로써 두 날염시스템간의 동등성을 확보하고 전체 연구결과의 품질을 향상시키는데 기여하였다.

- 데이터의 품질요건: 시간적 범위를 설정하는데 있어 전과정단계별 단위공정 별 데이터를 적용할 시에는 선정된 디자인에 대한 1차 데이터를 수집하기 위해 실제 S/O제작 과정 동안 데이터를 실측하였으며, 2차 데이터를 적용할 경우에는 최신의 데이터를 적용하도록 하였다.

- 데이터수집방법: 일관된 데이터수집 및 계산을 지원하기 위하여 데이터 수집 및 문서화 양식을 두 날염시스템 대하여 일관되게 적용하였다. 단, 2차 데이터를 사용한 물질제조단계 및 수송단계와 S/O제작단계의 경우 LCI 데이터를 활용함에 따라 동일한 문서화 양식을 적용하는 데에는 한

Fig. 4 디지털날염의 원단 제외한 수송물질별 영향

- 디지털날염시스템의 환경이슈로 도출된 S/O 제작단계의 전기의 공정별 기여도를 분석해 보면, CAD/SM 공정이 가장 많은 전기를 소비하며, coating, printing, steaming, washing, drying 공정순서로 기여한다.

Fig. 5 디지털날염의 원단 제외한 공정 별 전기 영향

5.2 방법론점검 및 데이터 질 검토(가치평가)

본 연구의 날염시스템에 대한 방법론 점검은 일관성과 완전성을 중심으로 데이터 품질평가를 수행하였다. 일관성은 제품시스템의 여러 옵션에 대한 등가성을 평가하기 위한 목적을 가지며, 완전성은 본 연구의 대상 제품 시스템이 차지하는 지역적 범위가 어느 정도의 비율을 나타낼 수 있는지를 표현하는 것이다. 본

계가 있었다. 단, 데이터베이스 활용 시 데이터 베이스에 대한 시간적, 공간적, 기술적 범위를 고려하였다.

- 데이터범주: 전과정에 걸쳐 수집한 모든 데이터를 통일된 파라미터 명명법을 적용하기 위하여 원료물질, 에너지, 대기배출물, 수계배출물, 고형 폐기물 등 데이터범주 별 용어집을 마련하여 이를 적용할 수 있도록 하였다. 단 2차 데이터를 적용할 경우에는 전과정평가 S/W Coding시 적절한 파라미터 전환을 시도함으로써 전체 제품시스템에 데이터범주의 일관성을 기하도록 하였다.
- 데이터계산방법: 1차 데이터를 적용할 경우, 3개 디자인에 대한 두 날염시스템의 데이터수집 결과 및 산출근거를 구체적으로 기술하였다.

III. 전략적 활용방안

앞에서 규명된 주요 환경 이슈에 대해 환경 영향을 줄이기 위한 구체적인 대체 시나리오를 적용해 보고, 정량적인 환경 개선 효과를 LCA 분석을 통해 도출해 내었다. 또한 전략적 활용 방안으로써 EMS와의 연계, 환경 친화적 제품 설계 측면에서 본 디지털 섬유 날염시스템의 개선 가능성, 환경 보고서 적용 등 다양한 활용 방안에 대해 살펴보았다.

1. 환경개선 시나리오 적용

1.1 해외 수송 거리 변화에 따른 환경 영향 비교

디지털 날염 시스템에 대한 전과정 영향평가 수행 결과 수송단계에서 항공수송에 의한 영향이 대부분인 것으로 분석되었다. 이는 디지털 날염 시스템에서 사용하는 약품이 해외에서 항공 수송되기 때문인 것이다. 따라서 수송단계의 환경영향을 개선하기 위한 아이디어로서 항공수송을 해양과 육로수송으로 대체하여 그 개선 정도를 파악해 보기로 하였다. 우선 모든 영향범주에 대하여 수송방식 변경 시 변화 정도를 분석해 본 결과 항공수송을 해양수송으로 변경하였을 때 인간독성과 오존층파괴에서 가장 큰 변화를 보였다.

Table 7. 수송 변경 시 디지털날염의 영향평가 결과 값의 변화

Category	항공수송	해양수송	Gap	감소율
MRDP	9.57E-03	8.35E-03	1.22E-03	-13%
GWP	7.88E-01	6.03E-01	1.85E-01	-23%
ODP	7.56E-02	9.66E-03	6.60E-02	-87%
AP	1.29E-03	3.63E-03	6.51E-04	-15%
EP	5.31E-03	5.19E-03	1.20E-04	-2%
POCP	6.55E-03	6.30E-03	1.91E-04	-3%
HTP	9.87E-02	2.07E-02	7.80E-02	-79%
ATP	1.86E-01	1.73E-01	7.66E-02	-41%
CTP	2.35E-05	2.10E-05	2.50E-06	-11%

따라서 두 영향범주에 대하여 항공수송을 해양수송으로 다시 육로수송으로 변경해 봄으로써 추후 디지털 날염 시스템의 환경 개선에 대한 기회를 확인하고자 하였다. 이러한 시나리오는 해양수송이 육로수송에 비해 좀 더 현실 가능하다는 차원에 의한 것이다.

Fig. 6 수송 변경 시 디지털 날염의 1차 S/O 오존층 파괴 분석 그래프

위의 표와 그림에서 알 수 있듯이 오존층파괴의 경우 항공수송을 해양수송으로 변경하였을 때 수송단계의 환경영향이 현저히 감소한 것을 알 수 있다.

Fig. 7 수송 변경 시 디지털 날염의 1차 S/O 오존층 파괴 분석 그래프

위의 표와 그림에서 알 수 있듯이 인간독성의 항공 수송을 해양수송으로 변경하였을 때 수송단계의 환경영향이 현저히 감소한 것을 알 수 있다.

위의 결과에 따라 해외에서 항공 수송을 통해 수입하는 이 물질들을 점차 국산화 하여 국내에서 조달함으로써 국내 육로 수송으로 변경 시킨다면, 수송 부분의 환경 영향을 크게 감소시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 현재 요소와 NaHCO₃, Surfactant에 대한 국산품 대체 방안을 수립 중에 있으며, 잉크 또한 국산화를 시작으로 나노 잉크 개발을 추진 중에 있다.

1.2 나노 잉크 사용에 따른 환경영향 평가

디지털 날염 시스템은 폐수와 폐기물 발생이 거의 없는 환경친화형 고부가가치 제품인 다품종 소량 생산을 위한 청정 생산 기술로서 산업자원부의 섬유 산업 10대 전략 기술로 인정 되어 향후 정부의 주도적인 지원이 기대 된다. 이러한 청정생산기술 개발을 가속화시키기 위한 것으로서 DTP 나노 청정기술센터에서는 전?후처리 공정이 필요 없는 나노 잉크를 개발하고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재의 일반 잉크 대신 나노 잉크를 사용했을 때의 환경영향 감소 정도를 분석하고자 하였다. CAD/LIP 공정과 Printing공정을 제외한 모든 전?후처리 공정이 제외되었으며 그 이외의 모든 조건은 기존과 동일하게 적용하였다.

Fig. 8 나노 잉크 사용에 따른 환경영향 감소율 분석 그래프

위의 그림에서 알 수 있듯이 기존의 일반 잉크를 사용했던 것에 비해 모든 영향범주에서 영향이 감소한 것을 알 수 있다. 특히 오존층파괴와 인간독성의 경우 해외에서 항공 수송되는 물질이 제외됨에 따라 그 감소율이 타 영향범주에 비해 큰 것을 알 수 있다. 그리고 다른 영향범주도 전기 사용량이나 세척 공정의 폐수가 제외됨으로 인해 그 영향이 감소되었다.

기존 날염 업체가 조속히 디지털 날염 시스템 솔루션을 도입하여 설비를 교체 할 경우 전?후처리 공정이 불필요하게 될 것이다. 이는 환경 친화적 제품 생산은 물론이고 경제적으로도 다음과 같은 매우 많은 개선 효과를 볼 수 있다

- 1) 제조 공정과 생산 기간 단축으로 원가 절감.
- 2) 출력물 정량 생산으로 불필요한 재고 대량 발생 방지.
- 3) 원/부자재 대량 소요 방지.
- 4) 에너지/물 대량 사용 방지.
- 5) 토지/건물 대량 소요 방지.
- 6) 저임금 노동집약적 인력 과다 소요 방지.
- 7) 폐수/폐기물 대량 발생 방지.

나노 잉크 사용에 따른 환경영향 분석의 경우 나노 잉크 사용에 의해 추가적으로 고려되어야 하는 잉크의 성분 그리고 그로 인한 폐수 성분 등이 고려되지 않은 한계가 있기 때문에 추후 나노 잉크에 대한 구체적인 제품의 성분 및 환경적 특성이 규명된다면 좀

더 정확한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

IV. 결론

디지털날염 대비 기존날염의 비교 LCA 연구는, 지금까지 국내 대기업에서 수행했던 기술 집약적 고부가가치 제품이나 수출 전략적 제품은 아니지만 일반 생활용품분야에서 국내에서는 처음으로 LCA수행을 했다는데 큰 의미를 부여할 수 있으며 또한 환경성과 경제성 개선을 동시에 추구하는 Eco-Efficiency 실 사례라는 점에 큰 의의가 있을 것으로 생각된다. 본 비교 LCA 수행 결과는 환경 친화적인 날염제품 생산을 위한 기존 및 디지털 날염 시스템의 운용에 활용할 수 있으며, 기존 날염 공정은 폴리에스터의 폐기물과 프린팅 작업 후 다량의 잔여염료의 폐수 배출 등의 개선 방안이 활용하고 DTP 공정은 전처리 코팅약품 및 섬유에 직접 프린팅 후의 세척 공정 등이 개선이 될 수 있으며, 향후 전/후 처리가 필요 없는 잉크 개발이 완료 되면 영향 결과는 보다 큰 폭으로 감소할 것으로 예상된다. 기존날염과 디지털날염의 비교 전과정평가는 환경적으로나 경제적으로 많은 어려움을 겪고 있는 국내 날염산업계에 대안이 될 수 있을 것으로 생각되며 현재 진행중인 나노 잉크 개발은 더욱더 환경친화적이며 경제성을 동시에 추구하는 우리나라 섬유산업이 청정생산 및 고부가가치제품생산으로 한 단계 발전 할 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) 디지털날염, 김재필, Fiber Technology and Industry, 5(3/4), 194-203 (2001)
- 2) 첨단 염색가공소재 기술개발 전략수립에 관한 연구, 염색기술연구소 보고서
- 3) "날염기법", 신중규, 형설출판사, pp. 229-236
- 4) ISO 14040 : Life Cycle Assessment - Principles and Framework, 1998
- 5) ISO 14041 : Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, 1998
- 6) ISO/TC207/SC5/WG3N29 Technical Report, 1998
- 7) Principles of Life Cycle Assessment', 허탁, 안중

- 우, 정재춘 공저, 1995
- 8) Life Cycle Inventories for Packaging, Published by SAEFL Berne, 1998
- 9) Heijungs, CML 2000, R. 1998
- 10) L.G Lindfores, Nordic Guidelines on Life Cycle Assessment, 1995
- 11) NordPad, Guidelines on Life cycle Inventory Analysis of Pulp and Paper, 1997
- 12) Journal of Industrial Ecology, "A Life-cycle approach to purchasing and using environmentally preferable paper", 1998
- 13) Life Cycle Inventories for Packagings, Published by SAEFL Berne, 1998
- 14) L.G Lindfores, Nordic Guidelines on Life Cycle Assessment, 1995