

염료산업 공정과정의 전과정평가 및 경제성평가에 관한 연구

박기학, 강 현, 김상용* , 박철환*

(수원대학교 환경공학과, *한국생산기술연구원 신에너지환경팀)

A study of LCA and TCA on a manufacturing process in dye industry

Kihak Park , Kang Hun, Sangyong Kim*, Chulhwan Park*

(Depart of Environmental Engineering, suwon university *Advanced Energy and Environment Research
Team, Korea Institute of Industrial Technology)

ABSTRACT

There are 117(based in 2000) domestic dye manufacturing companies, and 78.29% of the productions are reactivity dye and dispersibility dye. Most of them are small and medium industries which are managed by small quantity batch production system.

In this study, LCA(Life Cycle Assessment) and TCA(Total Cost Analysis) of the dye manufacturing process were tried. The subjects of this study were D company's Black-B, and O company's Yellow 59. They were inventorially analyzed by Batch type and analyzed in Gate-to-Gate way. Because of the weak data base of the middle compound substances, as a specific character of the dye industry, it is hard to estimate LCA at satisfactory level.

The functional unit used for LCA was 100Kg in D company's Black-B, and 1Kg in O company's Yellow 59. The impact assessment was estimated in 8 categories including the global warming using Eco-Indicator 95. As a result of TCA, the largest environmental burden of the dye industry was the global warming. And the reason for the global warming effect of Black-B was the Ethylene glycol in the freezer and, in case of Yellow 59, the use of electric power was the cause of the environmental burden. Yellow 59 was because of the use of electric power.

In this study, the present environmental problems of Korean dye industries were evaluated, and the result of this study could be used as basis materials for the development of the dye industries. This study deals with LCA and TCA of dye industry. So it could be used to analyze the present economical costs and to decide strategies and directions in the change of the production system and the improvement of the progress.

요 약 문

현재 국내 염료 제조업체는 117개(2000년 기준)로 반응성 염료와 분산성염료가 전체 염료 생산의 78.29%를 차지하고 있으며 이들 대부분이 중소기업으로 다품종 소량생산의 체제로 운영되고 있으며 Batch system으로 생산된다.

본 연구에서는 국내 대표적인 염료생산업체를 대상으로 염료생산 공정에 있어서 각각 환경성과 경제성을 평가하였다. 본 연구에 사용된 대상제품은 D社의 Black-B와 O社의 Yellow 59를 Batch type으로 목록분석 하였고, Gate-to-Gate 방식으로 이루어 졌다. 염료산업의 특성상 중간합성체 물질들의 Database가 취약하여 정확한 환경성 평가는 어려움이 있다.

환경성평가에 사용된 기능단위로는 D社의 Black-B는 100kg, O社의 Yellow 59는 1kg을 적용하였으며, 영향평가는 Eco-Indicator 95를 사용하여 지구온난화(GWP 100 years)의 7개 범주로 평가하였다. 영향평가 결과 염료 산업이 갖고

있는 환경부하는 지구온난화가 가장 많은 것으로 나타났으며, 그 원인으로는 Black-B는 냉동기의 Ethylene glycol에 있고 Yellow 59는 전력사용으로 나타났다.

본 연구를 통해 현재 우리나라 염료산업이 갖고있는 환경적 문제점을 살펴봄으로써 염료산업 발전의 기초 자료로 활용될 것으로 판단된다. 또한 현재 운영중인 염료생산 공정의 환경성 평가에 이어 경제성평가(Total Cost Analysis : TOC)를 수반하여, 현재의 경제적 비용분석은 물론 공정상의 개선과 생산시스템의 변화에 따른 경제적 손익 평가로써 기업생산활동의 방향제시와 정책결정에 활용될 것이다.

Key-words : LCA(Life Cycle Assessment), TCA(Total Cost Analysis), NPV(Net Present Value), Dye, Batch system, Eco-Indicator 95

1. 서 론

염료는 18세기 중반까지 천연염료를 사용해 오다가 1856년에 염기성 염료인 Mauve를 발견한 것이 유기 합성의 시초가 되었다. 또한 합성섬유의 출현과 고견뢰성의 요구로 반응성 염료가 개발되었다. 우리나라의 염료공업은 1950년 군복의 염색용을 시작으로 현재 국내 염료 제조업체는 117개(2000년 기준)로 반응성 염료와 분산성염료가 전체 염료 생산의 78.29%를 차지하고 있으며 이들 대부분이 중소기업으로 다품종 소량생산의 체제로 운영되고 있다. 현재 분산성염료는 Anthraquinone계에서 점차 이와 유사한 색상의 선명성과 견뢰도를 낼 수 있는 Azo염료쪽으로 진행되고 있으며, 반응성 염료는 흡진율·고착률을 높임으로써 염색폐수에 잔류하는 유·무기물의 농도가 낮고 수세와 Soaping시 용수를 절약할 수 있는 방향으로 연구가 진행되고 있으며, 또한 환경문제와 맞추어 ISO 14000(환경경영시스템)의 획득에 힘을 기울이고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 대표적인 염료생산업체를 2곳(D업체의 Black-B는 단일품목으로 시장 점유율이 50~60%)을 선정하였고 각공정별 환경성을 평가함으로써 현재 염료생산업체가 갖고 있는 환경적 문제점을 살펴보고, 또한 현재 운영중인 염료생산 공정에 대한 경제성을 평가함으로써 공정의 변화와 개선에 대한 기업의 경제적 손익과 기업정책 결정에 도움이 될 기초 자료로써 이용될 것으로 전망한다.

2. 연구 목적 및 범위

2.1 연구 목적

본 연구의 목적은 염료산업의 생산공정에 대한 전

과정평가(LCA)를 통하여 우리나라 염료 산업이 갖고 있는 환경적 특성을 파악하고, 환경오염부하를 정성적·정량적으로 분석함으로써 친환경적 제품생산에 대한 공정개선의 방향제시에 기초 자료로 활용하는 것이다. 또한 현재 경제적 비용분석을 통하여 향후 대안 공정의 도입으로 발생하는 비용저감 및 기업정책의 기초 자료의 정보를 제공하는 것이다.

2.2 연구 범위

본 연구에서는 국내에 대표적인 염료 업체 2곳을 선정하여 O 社의 Black - B(100kg), D 社의 Yellow 59(1kg)를 생산 공정에서의 환경성을 평가하였다. O 社의 디아조 공정과 커플링공정을 Black-B 제조 공정으로써 하나로 통합하여 평가하였다. 기능단위는 각 Black - B 100kg과 Yellow 59 1kg으로 하였으며, 시스템 경계는 각각 폐수처리 공정과 포장공정을 제외한 Gate-to-Gate로 결정하였으며 cutoff는 적용하지 않았다. 연구의 공정중에 사용된 HCl은 35%를 사용하고 있으나 영향평가에 반영된 것은 GaBi 3 v2 LCA 소프트웨어의 데이터 베이스에 있는 HCl 100%를 적용하였고 GaBi 3 v2 LCA 소프트웨어의 데이터 베이스에 없는 물질에 대해서는 목록 분석만 작성하였고 영향평가 대상에서는 제외되었다. 경제성 평가는 NPV를 계산하여 향후 5년간 환경투자 비용을 추정하였다.

2.3 전과정 목록분석

데이터 수집은 2001년에 연구에 사용된 각각 생산 품목 단위공정별로 수집되었다. 각각 회사의 염료 생산은 Batch type 형태로 생산되고 있었으며, 최종제품 이외의 중간 생성물은 발생하지 않았다.

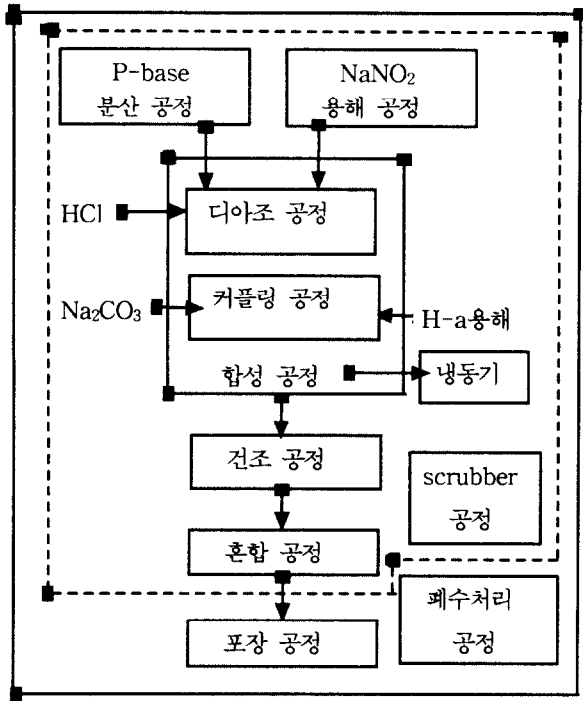


Fig. 1 O 社의 Black - B 제조공정도

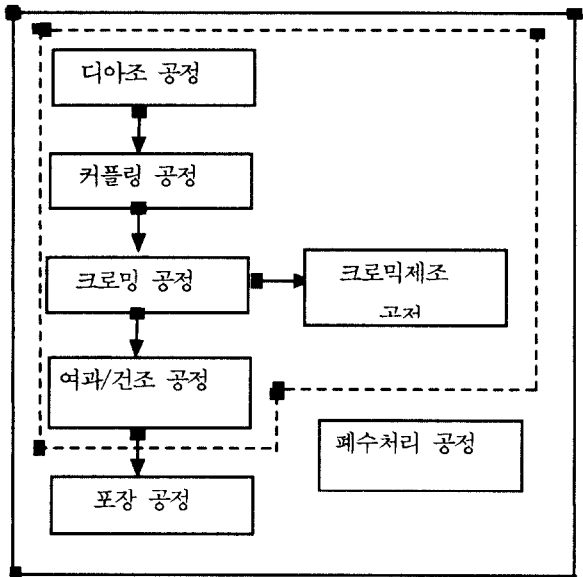


Fig. 2 D 社의 Yellow 59 제조공정도

제품의 기능 단위는 D 社의 Yellow 59(1kg)[나일론 원단 100kg을 염색할 수 있는 염료량, 1% o.w.f]이며, O 社의 Black - B(100kg)[면직물 10ton을 염색할 수 있는 염료량 1% o.w.f]으로 결정하였다. D 社의 경우 전력 및 용수가 단위공정별로 데이터를 관리하지 않아서 기계의 운전시간과 현장 노동자의 의견

을 수렴하여 생산된 양을 기준으로 할당하였고, 기능 단위에 맞게 환산하였다.

전력과 공업용수는 국내 전력 데이터베이스(1999), 국내 공업용수 데이터베이스(1999)를 사용하였고 이외의 물질에 대한 데이터 베이스는 GaBi 3 v2 LCA 소프트웨어를 사용하였다.

2.4 전과정 영향평가 및 해석

염료 제조공정의 물질수지를 통해 목록분석을 실시하고 LCA 소프트웨어를 이용하여 각 영향범주별 환경경향을 정량화 하였다. 전과정 영향평가 방법은 Eco-Indicator 95를 사용하였으며 환경영향범주는 GWP 100, ODP, AP, EP, POCP, Winter smog(EI 95), Carcinogenic substances(EI 95), H. metals(EI 95)로 8개 범주로 나누었다.

Eco-Indicator 95결과 O 社의 Black - B의 GWP 100 years를 살펴볼 때 냉동기 공정에서 87%를 나타내고 있었고 이 물질로는 Ethylene glycol의 영향 때문으로 나타났으며, D 社의 Yellow 59의 공정에서는 여과/전조 공정에서 39%, 크로밍 공정에서 28%로

Table 1 D社 Yellow 59 전과정 목록분석

투 입 물		
주· 보조 원료	Anthranilic acid(kg)	0.3943
	35%HCl(kg)	0.6857
	분산제(kg)	0.0217
	NaNO ₂ (kg)	0.2057
	PMP(kg)	0.5229
	NaOH(kg)	0.1285
	HCOOH(kg)	0.7143
	CH ₃ COONa(kg)	0.4286
	CrO ₇ (kg)	0.1429
	DMF(kg)	1.4286
Utility	공업용수(ℓ)	17.8571
	ICE(ℓ)	1.7143
	중유(ℓ)	2.5625
	경유(ℓ)	0.2878
	전력(kWh)	12.4243
배 출 물		
수질오염물질	DMF(kg)	1.4286
	폐수(ℓ)	21.8042

Table 2 O社 Black-B 전과정 목록분석

투 입 물		
주· 보조 원료	NaNO ₂ (kg)	12.4033
	P-base(kg)	47.2017
	35%HCl(kg)	45.2675
	H-acid(kg)	21.3169
	Na ₂ CO ₃ (kg)	14.4938
	Na ₂ SO ₄ (kg)	10.6955
	Ethylene glycol(ℓ)	617.4897
Utility	공업용수(ℓ)	539.214
	ICE(ℓ)	82.3045
	steam(ℓ)	2.4321
	전력(kWh)	100.8190
	LNG(m ³)	362.1399
배 출 물		
대기오염물질	수증기(ℓ)	270.2263
수질오염물질	폐수(ℓ)	1726.7984
폐기물	비닐포장재(kg)	0.5391
	종이포장재(kg)	0.0905

나타났으며 이는 전력의 사용량과 비례하여 나타났다. Black - B제조의 각 공정별 영향범주를 살펴보면 모든 범주에서 냉동기 공정이 가장 큰 환경부하를 갖고 있는 것으로 나타났다.

3. 전과정 평가 결과

3.1 목록분석 결과

본 연구에서 염료의 생산은 하나의 생산공정에서 다품종 소량의 형태로 생산되기 때문에 데이터의 수집은 2001년에 연구대상 각각 생산품목 단위공정별로

수집되었다. 각각 회사의 염료 생산은 Batch type 형태로 생산되고 있었으며, 최종제품 이외의 중간 생성물은 발생하지 않았다.

3.2 영향평가 결과

D社의 Yellow 59의 제조 공정에서 GWP 100 years의 영향평가 결과(Eco-Indicator 95)은 여과/건조 공정에서 7.2775kg CO₂-Eq. 로 가장 높게 전체 공정의 39%로 나타났으며, 이후 크로밍 공정에서 5.3734kg CO₂-Eq.로 28%로 나타났다. ODP, catalytic는 크로밍 공정에서 0.000281kg R11-Eq.로 가장 높게 나타났다. D社의 Yellow 59의 경우 중간 생성물을 원료로 많은 부분 사용하고 있어서 데이터 베이스의 미흡으로 정확한 평가가 이루어졌다고 말하기에는 다소 무리가 있지만 전체생산 공정에서 살펴보면, 전력의 사용에 의한 Utility의 부분이 많은 환경영향을 미치고 있었으며, 전체적으로 여과/건조 공정과 클로밍 공정에서 가장 많은 환경부하를 보이고 있다.

O社의 Black - B의 영향평가 결과(Eco-Indicator 95) Eutrophication potential (EP), Photochemical oxidant creation potential (POCP) 등 모든 영향범주에서 Black - B 제조공정에서 가장 큰 환경부하를 갖고 있었으며, 원인으로는 냉동기의 Ethylene glycol의 영향에 있는 것으로 나타났다. Eutrophication potential (EP)결과 Black - B 제조공정에서 차지하는 비율은 1.111738 kg Phosphate - Eq. 로 전체 공정 EP에 86%를 차지하였고, 건조공정이 0.13467 kg Phosphate - Eq.로 전체공정

Table 3 O社 Black-B의 정규화 결과

	POCP	Winter smog	Carcinogenic substances	Heavy metals	GWP 100 years	ODP, catalytic	AP	EP
NaNO ₂ 용해공정	0.000297	0.000259	1.31E-09	1.43E-07	3.10E-05	4.64E-12	0.000314	5.50E-05
P-base 분산공정	1.58E-06	0.000617	9.66E-09	1.06E-06	0.000105	3.43E-11	6.09E-05	1.14E-05
Black-B 제조공정	0.084619	0.015636	0.004314	0.015194	0.069757	0.000549	0.019649	0.005821
건조공정	0.002141	0.002529	1.36E-05	0.000311	0.00511	5.94E-10	0.003384	0.000705
혼합공정	8.25E-06	0.000268	5.06E-08	5.52E-06	0.000551	1.80E-10	0.000319	5.95E-05
scrubber	5.40E-05	0.00049	2.33E-06	2.56E-05	0.001124	2.29E-07	0.000625	0.00012
합 계	0.087121	0.018008	0.00433	0.015538	0.076678	0.000549	0.024282	0.006772

Table 4 D社 Yellow 59의 정규화 결과

	디아조 공정	커플링 공정	크로믹 제조공정	크로밍 공정	여과/건조 공정	합계
GWP 100 years	8.30E-05	3.62E-05	7.40E-05	0.000164	0.000222	0.000579
ODP, catalytic	2.63E-08	2.50E-08	2.42E-11	3.04E-06	7.25E-11	3.09E-06
AP	4.54E-05	3.16E-05	4.28E-05	9.67E-05	0.000128	0.000345
EP	8.85E-06	5.90E-06	8.00E-06	2.66E-05	2.40E-05	7.34E-05
POCP	6.01E-06	1.29E-05	1.11E-06	0.00047	3.33E-06	0.000493
Winter smog	3.77E-05	2.98E-05	3.60E-05	6.69E-05	0.000108	0.000279
Carcinogenic substances	2.49E-07	4.10E-06	6.80E-09	1.93E-05	2.04E-05	2.37E-05
Heavy metals	1.69E-06	2.31E-05	7.42E-07	3.59E-05	2.23E-06	6.36E-05

10%를 나타냈다. Carcinogenic substances(EI 95)는 100%로 나타났으며, 나머지 공정에서는 매우 미비한 값을 나타냈다. 따라서 O社의 Black-B의 제품

의 전과정 평가결과 냉동기의 대체 기술 및 환경의 개선이 요구되어야 할 것으로 판단된다.

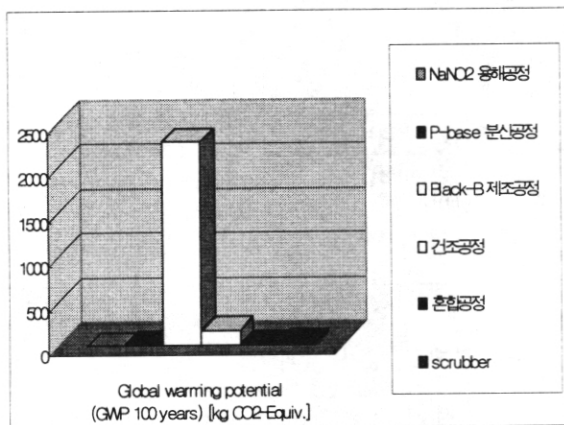


Fig. 3 O社 Black - B 생산공정별 GWP 100 years 결과

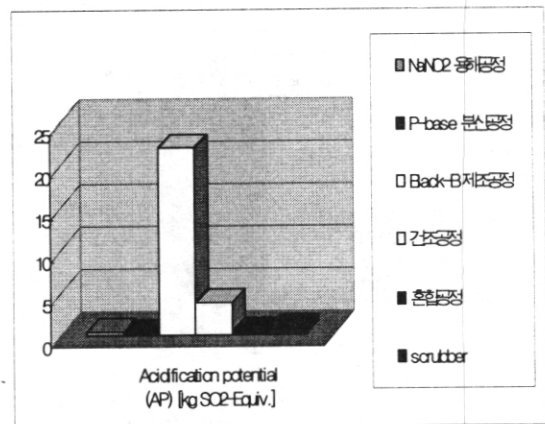


Fig. 5 O社 Black - B 생산공정별 AP 결과

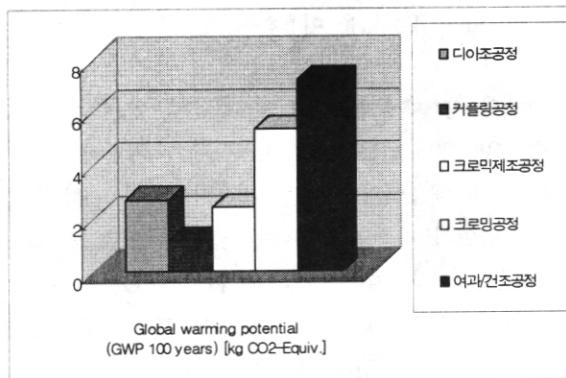


Fig. 4 D社 Yellow 59 생산공정별 GWP 100 years 결과

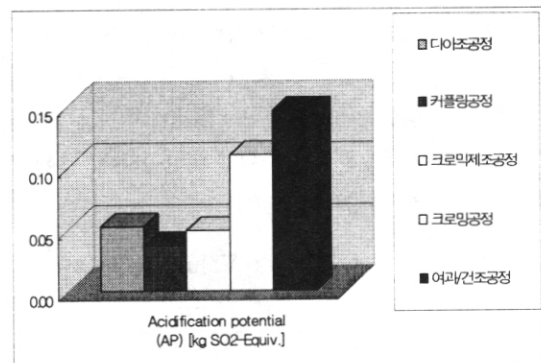


Fig. 6 D社 Yellow 59 생산공정별 AP 결과

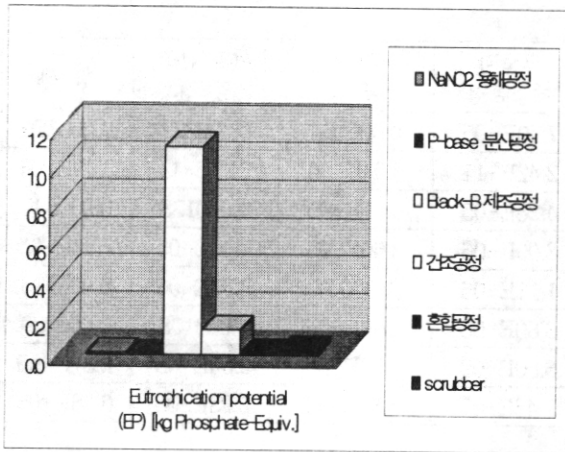


Fig. 7 O社 Black - B 생산공정별 EP 결과

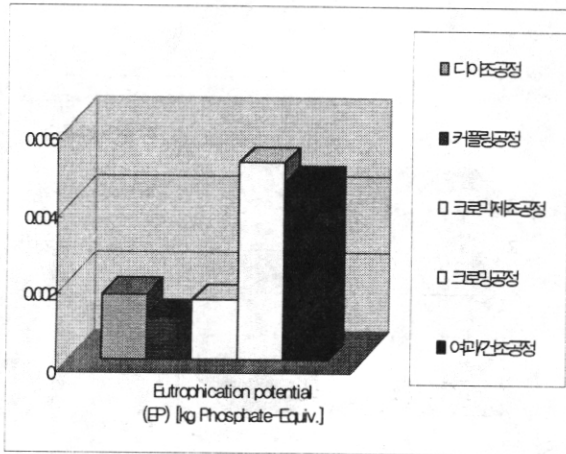


Fig. 8 D社 Yellow 59 생산공정별 EP 결과

4. 경제성평가

기존의 공정과 대안의 공정에 대한 경제성을 평가하는 방법으로 우선 목록들의 데이터 수집이 필요하며, 이 데이터를 이용하여 순 현재가치(Net Present Value, NPV)를 계산함으로써 대안공정에 대한 투자 적합성을 평가 하였다.

순 현재가치(Net Present Value, NPV) 계산식

$$NPV = \frac{CF_1}{(1+R)} + \frac{CF_2}{(1+R)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+R)^n} - I \text{ or } V$$

CFn : n년째 해당되는 법인세 현금흐름

I or V : 초기 투자비용(∑_{i=a}ⁱ H₀)

R : 할인율

Table 5 연간 운영비 조사목록

재료비(구입,운송,저장)	규제 준수비
원료비 솔벤트 촉매비 개인 보호장비 비용 유지공급비	표지 부착비 기록유지비 허가비 보고비용 보호장비비
직접노무비	보험료
운전비 감독비 감시 및 검사비	근로자 보상비용 근로자 건강보험 오염부담비 상업 일반 부담비
유틸리티 비용	향후 부담금
전력비 스팀용수비 하수비 연료비	벌금 및 위약금 소송비용 사업장 폐쇄비
폐기물 관리비용	인적 상해 보상비 재산 및 자원 훼손비 복구비
현장 전처리 비용 현장 취급비 저장비 운반비용	

4.1 경제성 평가 결과

두 업체의 경제성 평가로 NPV (Net Present Value, 순 현재가치)를 분석하였다.

NPV 계산에 있어서 할인율은 10%, 인플레이션을 3.5%, 세율 30%, 사용연한은 5년을 가정하였으며, P2 Finance Tools을 이용하여 두 회사 동일하게 계산하였다.

D社의 총 매출액은 18,089(백만원, 2000년), 근로자수 73명(2000년)으로 Yellow 59가 차지하는 매출고는 전체 매출액의 10%를 적용하였으며, O社의 경우 년 단위의 비용조사가 아닌 batch당으로 조사되었기 때문에 매출고를 환산할 수 없었다. O社의 총 매출액은 441억원(2001년), 근로자수 180명(2001년)으로 Black - B가 전체 매출액의 40%를 차지하고 있다.

Table 6 D社 Yellow 59 제조공정의 연간 운영비

(단위: 천원)

재료비 (구입, 운송, 저장)	38,850	규제 준수비	910
원료비	23,800	표지 부착비	140
솔벤트	14,000	기록유지비	140
촉매비	-	허가비	350
개인 보호장비	350	보고비용	140
유지공급비	700	보호장비비	140
직접노무비	107,100	보험료	
운전비		근로자 보상비용	
감독비	-	근로자 건강보험	-
감시 및 검사비		오염부담비	
		사업일반 부담비	
유틸리티 비용	5,600	향후 부담금	-
전력비	2,100		
스팀용수비	1,400	벌금 및 위약금	
하수비	700	소송비용	
연료비	1,400	사업장 폐쇄비	
폐기물 관리비용	3,500	인적 상해 보상비	-
현장 전처리 비용	1,400	재산 및 자원 훼손비	
현장 취급비	1,400	복구비	
저장비	350		
운반비용	350		

Table 7 D社 Yellow 59 환경비용의 효율성 파악지수

지표명칭	지 표 식	지 수
경상이익 비율	환경비용/경상이익	-
매상고 비율	환경비용/매상고	0.55
폐기물 처리비용	폐기물 처리비용/제조비용	2.2
	폐기물 처리비용 순 증감 /환경비용	-
	폐기물 처리비용/매상고	0.19
	폐기물 처리비용 /제품생산량(kg)	0.07
에너지 사용비율	유틸리티 사용비/총 제조비	3.6

Table 8 O社의 Black-B 제조공정의 Batch당 운영비

(단위: 천원)

재료비 (구입, 운송, 저장)	34,725	규제 준수비	
원료비	30,858	표지 부착비	
솔벤트	-	기록유지비	
촉매비	-	허가비	
개인보호장비	3,867	보고비용	
유지공급비	-	보호장비비	
직접노무비	1,008,000	보험료	
운전비		근로자 보상비용	
감독비	-	근로자 건강보험	-
감시 및 검사비		오염부담비	
		사업일반 부담비	
유틸리티 비용	8,808	향후 부담금	-
전력비	1,920		
스팀용수비	-	벌금 및 위약금	
하수비	6,888	소송비용	
연료비	-	사업장 폐쇄비	
폐기물관리비용	912,500	인적상해 보상비	-
현장전처리 비용		재산 및 자원	
현장 취급비		훼손비	
저장비		복구비	
운반비용			

Table 9 O社 Black-B 환경비용의 효율성 파악지수

지표명칭	지 표 식	지 수
경상이익 비율	환경비용/경상이익	-
매상고 비율	환경비용/매상고	-
폐기물 처리비용	폐기물 처리비용/제조비용	46.5
	폐기물 처리비용 순 증감/환경비용	-
	폐기물 처리비용/매상고	-
	폐기물 처리비용 /제품생산량(kg)	37.6
에너지 사용비율	유틸리티 사용비/총 제조비	0.45

5. 결 론

염료산업의 염료생산공정에 있어서 국내 업체 두 곳을 대상으로(O社 Black-B, D社 Yellow 59) 제조

공정에 대한 환경성과 경제성을 평가하였다. 각각 제품의 기능단위는 O社의 Black-B 100kg, D社의 Yellow 59는 1kg으로 환산하여 목록분석 하였으며, 시스템 경계는 각각 폐수처리 공정과 포장공정을 제외한 Gate-to-Gate로 결정하였으며 cutoff는 적용하지 않았다. LCA software를 이용하여 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 분석하였고, 본 연구에 사용한 영향범주로는 Eco-Indicator 95 방법을 적용하여 GWP 100 years 외 7개 범주로 평가하였다. Eco-Indicator 95 방법으로 각각 영향을 평가한 결과 두 업체 모두 지구온난화에 가장 큰 환경영향을 미치고 있었으며, 그 원인으로는 Black-B 제조 공정에서는 Ethylene glycol에 있었으며, Yellow 59에서는 전력사용 등 유틸리티 부분의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 본 연구의 대상으로 두 업체를 선정 하였으나, 제품이 상이하고 설비에 대한 규모 또한 다르기 때문에 두 제품에 대한 비교 LCA는 아니다. 그러나 Black-B의 경우 시장점유율이 단일 품목으로 50~60%를 차지하고 있었으므로 국내 염료 생산업체가 갖고 있는 문제점을 다소 말할 수 있다고 하겠다.

본 연구의 대상인 염료는 제품 특성상 다품종 소량으로 각각 업체에서 Batch system으로 생산되고 있었다. Batch system이라는 점에서 제품의 생산에서 오는 설비적인 부분과 유틸리티 부분의 해결이 친환경적 제품생산에 근원적인 요인이라고 판단된다. 또한 본 연구에서는 제외되었지만 폐수처리 부분을 포함하여 전과정평가를 실시하고 폐수 처리에 의한 용수의 재활용이 용수를 많이 사용하는 염료 산업에 있어서 기업과 환경에 많은 이익이 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 산업자원부의 청정화를 위한 진단지도 사업으로 한국생산기술연구원에 지원을 받아 수행되었습니다. 감사합니다.

참고문헌

- 1) 한국기술연구소총람(산업기술진흥협회) 2001/2002
- 2) 광공업통계조사보고서(통계청) 1999/2000

- 3) 한국정밀화학총람 2002
- 4) 산업자원백서, 산업자원부, 2002
- 5) 윤성이, 환경친화성 제품개발을 위한 TCA 방법연구 (1), 동국대학교, 한국전과정평가학회, 2001
- 6) IKP, Gabi 3 Professional Documentation, 1998
- 7) Total Cost Assessment Methodology, AIChE, 1998
- 8) Total Cost Assessment for Seminar Note, Washington State Department of Ecology, 2000
- 9) Analysis of Pollution Prevention Investments Using Total Cost Assessment : A Case Study in the Metal Finishing Industry, University of Washington Environmental Management Program, 1996
- 10) What Do You Think About...Some Thoughts On Environmental Accounting, Giuseppe Sammarco and Matteo Bartolomeo, FEEM, Italy, 1999
- 11) Life Cycle Costs of Some Biomass Fuels, Joram Krozer, TME, The Netherlands, 1999
- 12) Economic valuation Techniques for the Environment, John A. Dixon and Maynard M. Hufschmidt, 1986
- 13) User's Guide P2/FINANCE Version 3.0 in Excel Version 5.0 for Windows, Tellus Institute, Boston, MA USA, 1996