

캔 산업의 전과정평가를 통한 청정생산 적용에 관한 연구

구희준* · 정찬교

*환경청정기술연구센터 · 수원대학교 환경공학과

Study on the Application of Cleaner Production using Life Cycle Assessment in the Can Industry

H.J. Koo* · C.K. Chung

*Center for Env. & Clean Tech., Dept. of Env. Eng., The Univ. of Suwon

요 약

포장 산업의 발전과 재활용 활성화로 인해 캔 산업은 급속히 성장하였으나 공급과잉에 의해 수익성은 낮아졌다. 그러므로 캔 산업이 경쟁력을 확보하기 위해서는 제조공정의 개선을 통해 공정을 최적화하고 또한 환경부담을 감소시키는 것이 필수적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 전과정평가를 이용하여 알루미늄 캔 제조공정의 주요이슈를 규명하였다. 그 결과 불량캔을 저감하고 타유를 제거하는 것이 주요이슈로 규명되었다. 도출된 문제점의 개선안으로 정수시설 도입과 살균타유분리시스템 설치, 세척노즐 변경, 초순수 가온시스템 설비를 도입하였다. 개선결과 6.4개월만에 투자비를 회수하며 연간 약 3억원을 절감할 수 있을 것으로 조사되었다.

ABSTRACT : Can industry has grown up with growth of packing industry and its recycling activation in recent years. But profit has become low by oversupply. Therefore, can industry needs a reduction of environmental load and official loss by an optimization of process in order to maintain its competitiveness. In this study, the main issues of aluminium can production was investigated by life cycle assessment. As a result of LCA, it examined closely by main issues that reduce defective cans and remove tramp oil. In the present work, it was recommended that setup of R/O system, sterilizing tramp oil separation, and heating system of DI water. The ROI investigated 6.4 months. The operating cost with the advanced processes could be reduced annually by 300 million won.

1. 서 론

국내 알루미늄 및 스틸 캔을 포함하는 음료관 산업은 주류, 식음료 등 관련 산업과 수직계열화로 시장규모가 형성되어 있어 실물경기 및 계절적 요인

과 소비자의 소비성향에 따라서 민감하게 작용하는 소모성 중간재 산업이다. 현재 가장 보편적인 음료 용기인 병에 비해 캔은 가볍고 운반이 용이하며, 어느 장소에서든지 쉽게 사용하고 개봉할 수 있어 플라스틱 용기와 함께 점차적으로 사용량이 증가되고

있는 추세이다. 음료관은 사람이 직접 음용하기 때문에 청정공정의 유지와 식품·위생 측면에서의 철저한 관리는 물론 용기내 유해한 물질의 혼입 등이 없도록 과학적인 관리가 요구되고 있다.

캔 제조업의 경우 다품종 대량 생산체계이고 연속흐름 생산공정으로 이루어져 있으며, 전 세계적으로 거의 동일한 설비와 자재를 사용하고 있다. 캔 몸체 제조공정은 만분의 1까지 공차를 관리하고 End는 10만분의 1까지 공차를 관리하는 엄격한 공정관리를 필요로 한다. 일반적인 환경부하로는 제조 공정의 특성상 원판 코일의 절단, 컵의 성형 작업이 수반되므로 작업장의 소음이 매우 크고, 질삭유와 성형오일 등 많은 유제의 사용으로 폐유 및 폐기물을 발생시키고 폐수 처리 부하를 증대시키는 문제점을 지니고 있다. 또한 캔 세척으로 인한 다량의 세척 폐수 발생과 내면 및 외면 도장공정에서 발생하는 사업장 악취와 휘발성유기화합물질 배출 및 폐유기용제 배출 등이 문제시되고 있다. 그러나 무엇보다도 기업에서 가장 큰 현안으로 대두되고 있는 문제는 캔 제조업의 취약한 경제성을 극복하는 것이다. 현재 전 세계적으로 생산설비의 65% 정도의 용량만 수요가 발생하기 때문에 캔 납품가격을 낮추지 않으면 제품을 판매하기 어려울 정도로 수익성이 취약하다. 또한 국내 알루미늄 캔 제조의 경우 원료를 전량 수입하므로 원료구입에 많은 비용이 지출되고 있는 실정이다. 그러므로 국제경쟁력 확보를 위한 생산원가 인하 노력이 여러 가지 측면에서 시도되고 있으며, 동시에 환경성을 개선하려는 많은 노력이 시도되며 적용되고 있다[1-4].

현재 기업에서 연구되고 있는 여러 원가절감 기법 중에서 관의 두께를 줄이기 위한 캔의 박판화 기술개발 노력이 업계에서 일반적으로 가장 우선시되어 진행되고 있다. 맥주 및 음료 알루미늄캔의 2PC (Pieces) Can 206 Dia(Diameter)의 경우 1992년도에 0.0124인치에서 2001년에 0.0116인치까지 박판화에 성공하여 적용되고 있다. 캔의 박판화는 동일 원료로 더 많은 제품을 생산할 수 있기 때문에 앞으로도 더욱 원재료 절감과 폐기물 감량화를 위해 박판화 기술개발이 가속화 될 것으로 전망되며, 기업실정에 맞게 여러 가지 측면에서 원가절감에 많은 노력을 기

우고 있다.

그러나 이러한 원가절감 노력들은 체계적이고 전체적인 관점에서 접근하지 못하고 단편적으로 개선되어 적용되고 있으며, 캔 제품에 의한 전체적인 환경부하 특성 및 경제성을 파악하기 위한 체계적인 접근방안이나 방법론적 연구는 매우 부족하여 이에 대한 연구들이 필요하다.

물론 현재까지 몇몇 연구들은 캔 제조과정을 물론 유동 및 처리과정 등 전과정에 대한 측면에서 수행되었다[5-7]. 그러나 이러한 연구들은 단순한 환경부하만을 측정하거나 비교하기 위한 목적으로 수행되어, 연구의 결과를 실질적인 제조공정의 시스템에 적용하여 청정생산 시스템을 구축하지 못하였다. 그러므로 본 연구에서는 최종적으로 생산 시스템에 적용하는 청정생산 적용방안을 도출하고 현장에 적용하는 것을 목적으로 수행되었다. 이를 위한 방법으로 먼저 캔 제조공정의 전과정평가를 통해 사업장의 주요 이슈를 규명하고 규명된 이슈들을 개선할 수 있는 개선항목들을 우선순위에 따라 나열하여 최종 개선아이템을 선정하였다. 그러나 전과정평가의 경우 데이터 수집과 영향평가, 세부적인 정량화에는 어려움이 있으므로 전과정평가는 주요 이슈를 규명하기 위한 도구로만 사용하였다. 또한 알루미늄과 스틸 캔은 제조공정이 동일하고 주요 이슈만을 규명하기 위한 목적이므로 사업장에서 가장 많이 생산되는 알루미늄 캔을 대상으로 전과정평가를 수행하였다.

2. 알루미늄 캔의 전과정평가

2.1 목적 및 범위 설정

본 연구의 목적은 음료용기를 대표하는 알루미늄 캔을 대상으로 A사의 알루미늄 캔 제조공정의 전과정평가를 수행하여 주요 환경부하를 규명하기 위해 수행하였다. 연구범위는 A사의 알루미늄 캔 제조를 위해 투입되는 알루미늄 Sheet에서부터 제조공정을 거쳐 공장에서 출하되는 포장단계까지의 모든 투입물과 산출물을 측정하여 이들에 대한 물질수지를 세워 전과정평가를 수행하는 것을 원칙으로 Gate to gate 방식을 적용하였다. 그러나 알루미늄 산업에 가장 큰 경제적·환경적 부하를 갖는 것이 원료의 생

산단계이므로 원료생산 단계에 대한 목록분석 및 영향평가를 참조하여 그에 따른 결과를 추가로 해석하였다.

1) 기능 및 기능단위 설정

알루미늄 캔의 기능은 내용물 보관 기능으로 한정하였으며 기능단위는 알루미늄 캔 생산량 중에 가장 많은 비중을 차지하는 250ml 용량의 알루미늄 캔으로 정의하였다. 따라서 250ml 알루미늄 캔의 중량이 9.2g 임을 반영하여 기준흐름은 250ml 알루미늄 캔 10,000개 92kg으로 선정하였다.

2) 시스템 경계

시스템 경계는 알루미늄캔 생산공정에 사용되는 원료물질의 투입에서부터 제품이 출하되어 나오기까지의 제조공정으로 한정하였다. 또한 A사 공장 내에는 스틸캔 제조공정 1개 라인, 알루미늄캔 제조공정 2개 라인과 END 제조공정 1개 라인이 같이 있기 때문에 이에 대한 세부적인 시스템 구분이 필요하다. 따라서 CML99에서 제시한 방법으로 시스템 경계를 구분하였다[8]. 즉, 스틸라인과 End 라인을 제외한 알루미늄 제조라인 2개만을 대상시스템으로 선정하였다.

3) 데이터 수집 및 품질 요건

데이터의 실제 수집 방법은 공장에서의 실제 사용량과 생산량을 기준으로 하여 통합 관리되고 있는 데이터와 개별 관리되고 있는 데이터로 구분을 하였다. 데이터의 수집 기간은 2000년도 자료를 기준으로 하였다. 이로 인해 1년간의 물질사용 흐름에 대해 파악할 수 있도록 하였으며 1년간의 데이터 축적을 기초로 하여 지속적인 데이터베이스 구축과 지속적인

전과정평가 수행으로 인해 공정의 최적화를 유도하도록 하였다.

4) 할당

시스템 경계에서 언급하였듯이 대상시스템 중에 알루미늄 캔 제조라인과 스틸캔 제조라인 그리고 End 제조라인이 같이 있으므로 공장 내에서 통합관리하는 전기, 용수, 가스의 사용량과 대기배출물, 수계배출물 등에 대한 할당이 필요하다. 따라서 이에 대한 할당은 기본적으로 알루미늄과 스틸 라인 수로 하였다. 세부적인 할당은 각 라인별 생산량이 다르기 때문에 각 라인별 생산량의 비로 할당하였으며 공정별 할당은 사용용량과 가동시간에 근거하여 계산하여 할당하였다. 즉, 용수는 게이지에 측정된 사용량을 근거로 하여 각 공정별로 할당을 하였다. LNG는 총 사용량을 각 공정에 사용되는 버너의 사용용량과 가동시간을 고려해 할당하였다. 보조원료인 잉크와 바니쉬는 사용되는 종류가 많고 통합 관리되기 때문에 알루미늄캔과 스틸캔의 생산량에 비례하여 할당하였다. 하지만 대기배출물 중 휘발성유기물질은 공장자체에서 측정하고 있지 않기 때문에 공정 중 발생될 것으로 예상되는 휘발성유기물질에 대해서는 제외하였으며 다만 Upstream 데이터베이스에 연계된 원료제조공정의 휘발성유기물질만 반영하였다.

2.2 전과정 목록분석

A사의 알루미늄 캔 제조공정을 투입물과 산출물의 데이터를 기준으로 각 단위공정으로 구분하고 이를 단순화하여 공정흐름도를 작성하였다. 목록분석의 투입물과 배출물에 대한 결과들은 기능단위인 A사의 250ml 알루미늄 캔 10,000개, 즉 기준흐름인 92kg을 생산하는데 발생된 양이다.

Table 1. The basis of data collection method and data source

구분	산출근거	파라미터
개별관리	실제사용량/생산량	원료, 화학약품, 제품 등
통합관리	게이지 측정치	용수
	실제사용량/생산량에 근거한 추정치	전력, LNG, 보조원료, 고형폐기물, 폐수처리용 약품 등
	계산치	스크랩, 대기배출물, 수계배출물
	추정치	용수 증발량

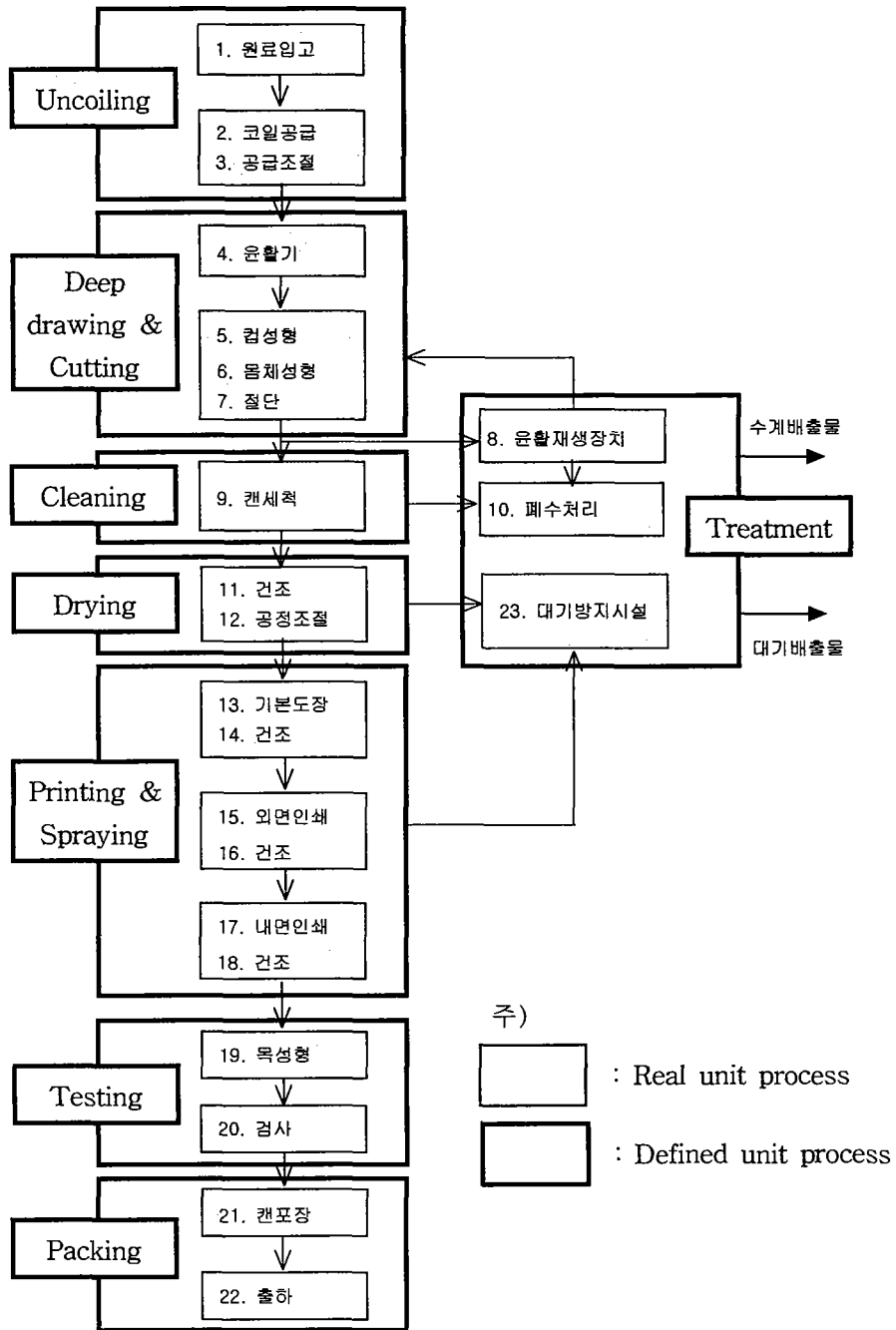


Fig. 1. Process flow of aluminum can production.

Table 2. Total LCI of aluminum can production

투입물			배출물		
주원료	알루미늄 코일(kg)	122.37	제품	Al 캔(kg)	92
보조원료	코팅제(kg)	0.2059	고형폐기물	Al scrap(kg)	29.925
	잉크(kg)	0.2085		폐보루(kg)	0.7336
	락카(kg)	6.7348		비닐(kg)	0.4844
	Varnish(kg)	1.8715		합성수지(kg)	0.217
보조재	절삭유(kg)	0.3749	수계배출물	폐절삭유(kg)	0.8421
	성형오일(kg)	0.39		폐슬벤트(kg)	0.0301
	첨가제(kg)	0.0772		폐락카(kg)	0.3561
	HF(kg)	1.8728		Sludge (kg)	4.9327
	H ₂ SO ₄ (kg)	1.4083		폐흡착제(kg)	0.1921
	NaOH(kg)	0.1068		방류수(kg)	1295.4
	HCl(kg)	0.0657		COD(mg/ l)	5.6572
	Al ₂ (SO ₄) ₃ (kg)	2.7991		SS(mg/ l)	3.5404
	응집보조제(kg)	0.0052		Cu(mg/ l)	0.0531
	분말활성탄(kg)	0.6924		Pb(mg/ l)	0.0194
	Ca(OH) ₂ (kg)	5.3035		F(mg/ l)	0.7915
	틀루엔(kg)	0.3569		Cr(mg/ l)	0.0674
	2-부탄온(kg)	0.0651			
	부톡시에탄올(kg)	0.0178			
Utility	전력(MJ)	782.11	대기배출물	분진(kg)	0.0992
	용수(kg)	1318.211			
	LNG(kg)	20.4306			

2.3 전과정 영향평가

1) 원료제조공정과 캔 제조공정의 영향평가 비교

알루미늄 캔 제조공정의 물질수지를 통해 목록 분석을 실시하였고 전과정평가용 소프트웨어인 GaBi 3 Professional을 이용하여 각 영향범주별 환경영향을 정량화 하였다. 전과정 영향평가 방법은 Eco-Indicator 95를 사용하였다. 알루미늄 제조산업은 특별히 원료제조 공정에서 발생하는 환경부하가 크기 때문에 영향평가에는 알루미늄 캔 제조공정 외에 알루미늄 원료제조공정을 포함하여 비교하였다. 우리나라에서 수입하는 알루미늄 원료에 대한 자료가 아직 수렴되지

않은 상태이기 때문에 GaBi 3 Professional 데이터베이스에 있는 Aluminum sheet BAT 공정 자료를 연계하여 사용하였다. Aluminum sheet BAT 공정은 현재의 최적화된 원료 채굴, 선광, 전기분해 기술로 1차 알루미늄 판을 생산하는 공정으로 이에 대한 환경부하를 GaBi 3 Professional을 이용하여 정량화 하였다[9]. 영향평가 결과, 알루미늄 원료제조 공정이 캔 제조공정보다 중금속과 부영양화를 제외하고 환경부하가 큰 것으로 평가되었으며, 다른 영향범주에 비해 지구온난화지수가 월등하게 크게 나타났다. 이는 전력과 에너지를 다량으로 소비하기 때문에 이에

Table 3. Characterization of aluminum can based on Eco-Indicator 95

Impact Categories	Equivalency factor	캔 제조공정	알루미늄 원료 제조공정	Total
Global warming potential (GWP 100 years)	kg CO ₂ -Eq.	144.1616	690.7	834.8616
Ozone depletion potential (ODP, catalytic)	kg R11-Eq.	4.94E-06	7.15E-05	7.64E-05
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ -Eq.	0.866403	1.8883	2.754703
Eutrophication potential (EP)	kg Phosphate-Eq.	0.165762	0.11948	0.285242
Photochemical oxidant potential (POCP)	kg Ethene-Eq.	0.022914	0.32025	0.343164
Winter smog (EI 95)	kg SO ₂ -Eq.	0.723462	1.3694	2.092862
Carcinogenic substances (EI 95)	kg PAH-Eq.	2.37E-05	5.84E-04	6.08E-04
Heavy metals (EI 95)	kg Pb-Eq.	2.13E-02	1.63E-04	0.021463
Total		145.9615	694.3983	840.3597

다른 대기배출물의 영향이 큰 것으로 나타났다. 중금속과 부영양화의 경우 캔 제조시의 유제과 용수로 인해 수계배출물이 많이 발생되기 때문이다.

2) 캔 제조공정의 영향평가

단위공정별 환경영향평가를 Eco-Indicator 95를

이용하여 분석하였다. 각 단위공정 중 Printing & Spraying 공정이 가장 큰 환경 부하를 발생시키고 있으며 이는 기본 도장, 외부인쇄, 내면인쇄 공정과 각 인쇄공정 후 건조에 필요한 많은 전력과 LNG 사용에 의한 것으로 나타났다. 따라서 전력 및 연료사용으로 인해 발생하는 배출물이 지구온난화지수의

Table 4. Evaluation of aluminum can based on eco-indicator 95

Unit Process	Impact Categories							
	GWP 100	ODP	AP	EP	POCP	Winter smog	Carcinogenic substances	Heavy metals
Uncoiling	26.9792	2.638E-05	0.6247	0.0154	0.0018	0.2605	1.763E-05	0.0006469
Deep drawing & Cutting	34.2510	6.14E-05	0.7896	0.0196	0.0045	0.3281	2.225E-05	0.0008096
Schneider	27.1596	3.611E-05	0.6277	0.0155	0.00261	0.2614	1.77E-05	0.0006472
Cleaning	38.862	1.117E-04	1.1375	0.0241	0.0118	0.482	3.34E-05	0.0007131
Waste water treatment	26.9792	2.638E-05	0.6247	0.0154	0.0018	0.2605	1.763E-05	0.0006469
Drying	15.5055	1.319E-05	0.3823	0.0087	0.005	0.1493	8.873E-06	0.0003239
Printing & Spraying	89.4853	1.196E-04	2.1345	0.0503	0.0229	0.8525	5.348E-05	0.0019447
Testing	47.2136	4.617E-05	1.0933	0.0269	0.0032	0.4559	3.085E-05	0.001132
Packing	26.9792	2.638E-05	0.6247	0.0154	0.0019	0.2605	1.763E-05	0.000647
Air pollution prevention	26.9792	2.638E-05	0.6247	0.0153	0.0018	0.3065	1.763E-05	0.00065

가장 큰 영향요인이라는 것을 알 수 있다. Cleaning 공정에서는 상대적으로 오존층 파괴지수와 산성화지수가 큰 값을 보여주고 있다. 이는 세정시 사용되는 세정약품의 영향에 기인하는 것을 알 수 있다. 또한 영향범주별 환경부하가 공정별로 비슷한 유형을 보이고 있는데 이것은 각 공정에서 사용되는 전력의 양에 비례하여 환경부하가 발생되기 때문이다. 즉, 전력으로 인한 환경영향이 월등히 크기 때문에 사용되는 화학물질이나 다른 기타 물질의 영향이 상대적으로 작은 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 전력이 사용되는 양에 비례하여 전반적인 환경부하도 비례하여 나타남을 알 수 있다. 기본도장, 외부, 내면 인쇄와 인쇄후 건조공정을 포함하는 Printing & Spraying 공정이 가장 많이 에너지를 사용하기 때문에 각 영향범주별 환경부하가 크게 도출되었다.

2.4 결과해석

알루미늄 원료제조 공정과 캔제조 공정의 영향

평가 결과, 원료제조시의 환경부하가 상당히 높은 것으로 나타났으므로 원료사용을 최적화하는 것이 가장 중요한 이슈로 도출되었다. 이를 위해서는 각 공정에서 발생하는 불량캔을 최소화하는 것이 가장 중요하다. 사업장에서 불량캔이 발생하면 이는 압축되어 재활용되므로 이에 대한 환경영향을 고려하더라도 결국은 재활용된 알루미늄의 품질저하가 발생하기 때문에 결국은 불량캔이 발생하지 않도록 각 단위공정들을 최적화하는 것이 가장 중요한 것으로 도출되었다.

캔 제조공정에서는 지구온난화 지수가 다른 영향범주에 비해 월등히 높게 나왔으며, 이는 많은 전력과 연료사용으로 인한 지구온난화 가스의 발생에 기인한다. 전력의 경우 간접적인 환경영향이므로, 대상 사업장의 직접적인 지구온난화의 주요 원인은 LNG의 사용에 기인한다. LNG 사용량을 줄이기 위해서는 직접가열방식이 아닌 UV 등을 이용한 간접가열방식을 적용할 수 있을 것이다. 그러나 UV 역시

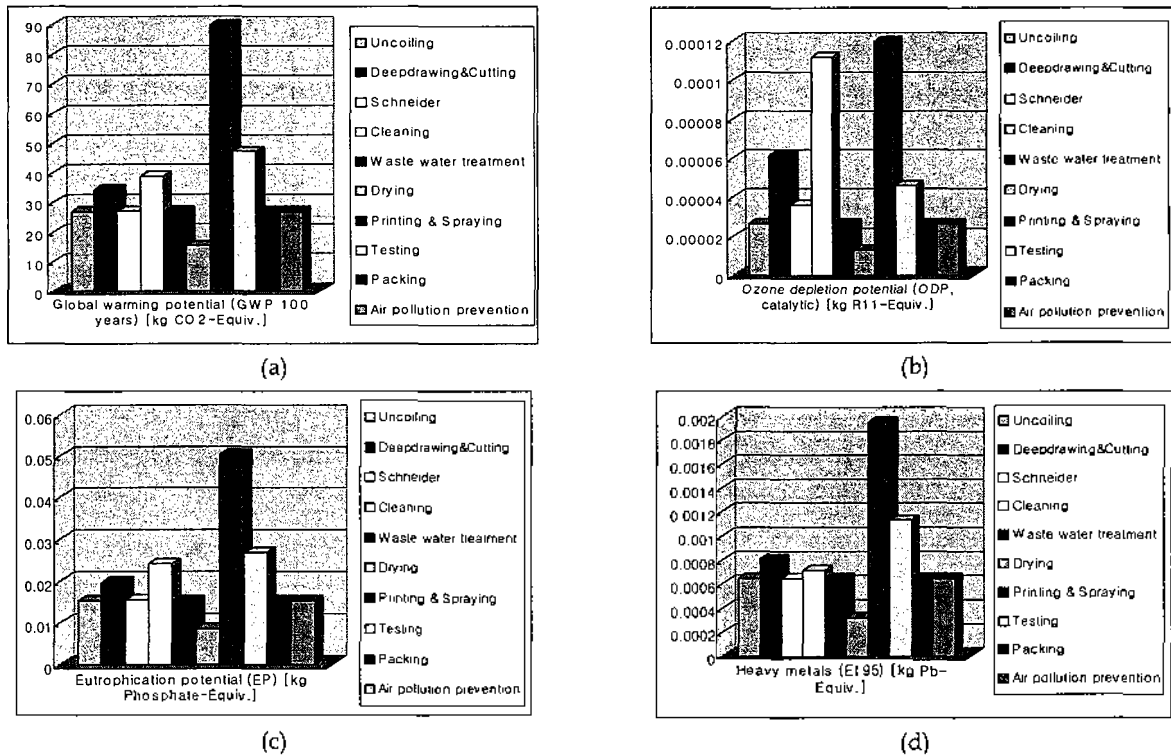


Fig. 2. Environmental impacts of each unit processes.
 (a) Global warming potential (b) Ozone depletion (c) Eutrophication (d) Heavy metals

전력을 많이 소비하므로 원하는 만큼의 기대효과를 기대하기 어려우므로 현재의 시스템에서 운전관리 최적화로 에너지절약을 실천하는 것이 가장 주요할 것으로 사료된다.

또한 지하수와 유제의 많은 사용으로 부영양화와 산성화 지수가 높은 것으로 나타났다. 지하수를 많이 사용하는 원인은 유제의 사용이 많기 때문이다. 그러므로 유제의 사용량을 저감시키는 것이 주요한 이슈로 도출되었다. 유제 사용량을 저감하기 위해서는 현재 타유가 발생하여 유제의 사용주기가 짧아지므로 적절하게 타유를 제거하는 시스템을 도입하여 유제의 재활용율을 높이거나 타유를 적절하게 처리하여 유제의 사용주기를 오래 사용할 수 있도록 개선할 필요가 있는 것으로 도출되었다. 결국 전과정평가를 통하여 사업장에서는 불량캔의 최소화와 유제의 최적사용이 주요 이슈로 도출되었다.

3. 공정분석 및 진단

3.1 불량률 분석

캔 제조공정의 경우 연속공정의 특성상 불량캔은 단위공정별로 관리되지 못하고 불량캔을 검출하

는 Testing 공정에서만 불량캔이 검출되어 불량원인과 공정별 불량 발생량을 규명하기 매우 어렵다. 또한 하나의 공정에서 불량 발생하면 연속적으로 많은 양이 발생하고 불량 발생하지 않을 경우에는 계속해서 불량이 없이 원활하게 운영되므로 일괄적인 기준에 의하여 공정별 불량 발생율을 산출하기가 매우 힘들어진다. 그러나 각종 불량원인을 경험한 많은 사업장 실무자의 의견과 표본조사를 통한 샘플링에 의해 불량원인과 단위공정별 불량 발생량을 파악하였다. 조사결과 불량캔은 인쇄, 세척, 몸체성형 공정에서 대부분의 불량캔이 발생하였다.

3.2 공정 진단

전과정평가를 통하여 도출된 주요 이슈들과 현재 사업장에서 문제시되고 있는 원인을 규명하고 사업장의 개선안을 도출하기 위하여 세부적으로 각 공정들을 진단하였다. 먼저 몸체성형 공정의 경우 Sheet를 컵으로 컵에서 캔으로 성형하므로 많은 유제가 사용되는데 이 과정에서 성형에 사용된 유제와 타유가 적절하게 제거되지 못하여 문제가 발생하는 것으로, 현재 사업장의 시스템은 설계용량을 초과하는 유량을 처리하여 문제가 있는 것으로 파악되었다.

Table 5. The present state of defective cans with each process

구분	불량원인	불량발생 공정	2001년	2000년	평균
캔(Body)	인쇄불량	외면인쇄	22 %	17 %	19.5 %
	외면불량	이송 및 운반	15 %	14 %	14.5 %
	이물혼입	세척공정	15 %	10 %	12.5 %
	밑면불량	몸체성형공정	16 %	15 %	15.5 %
	윗면불량	절단	10 %	14 %	12 %
	Lacquer 불량	내면인쇄	2 %	14 %	8 %
	Necker 불량	목성형	3 %	8 %	5.5 %
	기타	전체	17 %	8 %	12.5 %
	소 계			100 %	2,084 %
END	Score 불량	프레스	30 %	16 %	23 %
	외면불량	이송 및 운반	33 %	40 %	36.5 %
	Compound 도포불량	Compound 마감	10 %	24 %	17 %
	Dirty	이송 및 운반	10 %	12 %	11 %
	기 타	전체	17 %	8 %	12.5 %
	소 계			100 %	2,167 %

즉, 유제의 체류시간이 너무 짧아 적절히 타유를 분리하여 배출시키지 못하므로 타유의 농도가 높아져 사용가능한 유제도 낭비하게 된다. 그러나 현재 사업장 특성상 설비를 확장할 수 있는 부지가 협소하여 체류시간 연장을 통한 유제관리가 어려운 실정이므로 일반적으로 적용할 수 있는 원심분리와 같이 처리시간이 오래 걸리는 타유분리시스템을 적용하기는 힘들고 비교적 빠른 시간에 최대의 효율을 얻을 수 있는 시스템이 요구된다. 또한 기존의 시스템을 최대한 효과적으로 처리할 수 있도록 하기 위해, 스키머의 타유분리 효율이 높은 철판 스키머를 적용하고 2차처리를 수행하여 사용가능한 유제가 버려지지 않도록 관리할 필요가 있는 것으로 나타났다.

그리고 스틸캔의 경우 도장전에 녹이 발생하는 불량캔이 타 사업장에 비해 많이 발생하는 것으로 나타났다. 타 사업장의 경우 유제를 값이 싼 광물유를 사용하고 있으며 스틸 캔 발청문제도 상대적으로 발생빈도가 낮다. 그러나 대상 사업장은 청정지역에 위치해 있어 n-Hexane의 배출농도를 줄이기 위해 값비싼 제면활성제 계열의 동식물유를 사용하고 있는 실정이다. 그러므로 유제와 지하수, 공정수 등의 성분을 분석하여 발청 원인물질이 함유되어 있는지의 여부를 조사한 결과 지하수의 수질이 열악하여 경도가 높고 특히 제철제망간 설비가 필요할 것으로 사료되었다. 또한 유제와 회석하는 공정수의 경우 연산화 설비를 거치면서 나트륨의 농도가 높아지므로 역세약품을 변경하거나 역세주기를 늘릴 필요가 있는 것으로 나타났다.

세척공정의 경우 지하수를 전처리 없이 사용하므로 관거에 스케일이 형성되어 노즐의 막힘현상을 발생시키므로 노즐 구경을 넓혀 막힘현상을 방지하고, 지하수 원수를 세척수로 처리없이 사용하므로 전

처리 설비를 통하여 스케일 생성을 억제한 후에 공급할 필요성과 이온교환수지의 운전온도를 높여 불순물 형성을 억제하여 불량캔이 발생하지 않도록 유도하여야 할 것으로 도출되었다.

4. 개선안 적용 및 평가

4.1 개선안 적용

전과정평가와 불량분석 그리고 공정진단을 통하여 도출된 문제점을 개선하기 위하여 여러 가지 개선안을 현장에 적용하여 타유 제거 효율, 지하수 성분분석, 미생물분석 등 실험 및 분석을 수행하였다. 이 결과를 토대로 개선효과가 높고 적용가능성이 높은 개선안을 도출하였다.

살균타유분리시스템의 비교적 처리용량이 많기 때문에 기존의 스키머와 필터를 통한 처리시스템은 유지하면서 저장탱크에 있는 부상유만을 사이드로 뽑아서 제거하는 방식으로 Pilot test를 수행하였다. 이 시스템은 금속가공유의 부상오일(타유)를 스키머를 통하여 유입시켜 전처리 여과기인 백필터를 거치고 충전된 미디어(일명 합제기)에 의해 금속가공유와 부상오일(타유)를 분리 부상시켜 제거하는 방식으로 기존의 타유제거 효율이 30%인 스키머와 동시에 운전하여 50%의 높은 타유 제거율을 나타냈다. 그리고 미생물 살균작용을 위해 오존을 조사하므로써 기존의 살균제 사용량을 저감시킬 수 있는 것으로 도출되었다.

사업장의 특성상 지하수 원수의 수질이 열악하여 Dirty캔이 발생하고 스틸캔의 발청이 문제시되는 등 각종 불량캔 생성의 원인이 되므로 이를 원천적

Table 6. Advanced items of main issues

번호	공정	문제점	개선 방안
1	유회재생	알루미늄 유제 사용량 과다 살균제 사용량 과다	살균 타유분리 시스템 도입
2	유회재생	알루미늄 dirty 캔 불량 발생	지하수 처리용 정수장치시설 설치
3	전체	스틸 캔의 녹 발생	지하수 처리용 정수장치시설 설치
4	세척	스틸 캔 DI 세척조의 불순물 생성	이온교환수지의 저장조 가온시스템 설치
5	세척	세척노즐 막힘 현상	세척노즐 확대 및 스크린 설치

으로 저장하기 위하여 역삼투설비를 도입하였다. 사업장에 사용되는 모든 용수(500톤/일)를 역삼투 처리할 경우 설치비와 유지비용이 상승하고 과다비용이 지출하게 되므로 가장 시급하게 필요한 유제 회색수에 공급할 수 있도록 40톤/일 용량의 역삼투 설비를 설치하였다. 본 설비로 인하여 모든 불량캔의 근원적인 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대되며 특히 알루미늄 불량캔의 주요원인인 Dirty캔과 스틸캔 녹발생문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 역삼투 설비를 설치하면서 물체성형공정에 사용되는 용수에 배관을 추가하여 지하수, 공정수, 역삼투 통과수를 용도에 따라 사용할 수 있도록 구성하였다. 이는 역세로 인한 나트륨 농도의 조절과 사업장 전체 Overhaul시 청소용수로 사용하기 위해서이다.

세척공정의 경우 스케일 형성을 방지하기 위해 정수장치 앞단에 제철 제망간 설비를 설치하고 관기에 스크린을 설치하며, 세척노즐의 구경을 확대한 반면 노즐수를 저감시켰다. 그리고 초순수 세척조의 경우 이온교환수지의 최적 운전온도(35~45℃)에서 운

전할 수 있도록 저장조에 열판코일을 설치하였고 열원은 기존에 사용중인 스팀 여유분을 연결하여 초기 투자비 없이 설치하였다.

4.2 개선안 평가

도출된 개선안중 살균타유분리기를 제외한 나머지 항목들은 현재 설치가 완료된 상태이며 살균타유분리기의 경우 2003년에 도입 할 예정이다. 그러므로 살균타유분리기에 의한 환경적/경제적 효과의 산출 근거는 Pilot test를 통한 타유제거 효율(50% 증대)에 근거하여 저감되는 유제사용량과 살균제 사용량을 계산한 결과이다. 그리고 나머지 항목들은 설치전후의 결과를 반영하여 계산한 효과이다.

5. 결 론

본 연구에서 전과정평가를 통하여 불량캔 발생 저감, 타유의 효율적 제거, 에너지의 효율적 사용이

Table 7. Environmental effects of the improvement of main issues

지도유형	개선내용	환경적 효과
공정개선	살균타유분리기 도입 (타유제거 효율 50% 증대)	폐유 : 224 m ³ /yr 저감 폐수 : 4,480 m ³ /yr 저감
공정개선	지하수 정수시설 설치 (Al dirty캔 불량 50% 저감 St 녹불량캔 70% 저감)	Al scrap 40톤/yr 저감 St scrap 73톤/yr 저감
공정개선	DI 저장조 가온시스템 설치 (St 세척불량캔 50% 저감)	St scrap 10톤/yr 저감
공정개선	스크린 설치 및 세척노즐 확대 (Al 세척불량캔 50% 저감)	Al scrap 45톤/yr 저감

Table 8. Economic effects of the improvement of main issues

지도유형	개선내용	원부재료 절감 (천원/년)	처리비용절감 (천원/년)	합계 (천원/년)
공정개선	살균타유분리기 도입	38,476	13,440	51,916
공정개선	정수시설 설치	230,410		230,410
공정개선	DI 저장조 가온시스템 설치	25,720		25,720
공정개선	세척노즐 확대	58,500		58,500
개선효과 합계		353,106	13,440	366,546
초기 투자비		195,000 천원		
투자회수 기간(ROI)		6.4 개월		

캔 제조공정에서 우선적으로 해결해야 할 주요 이슈로 규명되었고, 공정진단을 통하여 적절하게 타유를 제거할 수 있는 살균타유분리시스템 설치, 정수시설 설치, 세척공정 개선 등이 개선안으로 도출되었다. 본 개선안 도입으로 인한 환경적 효과는 알루미늄 불량캔을 연간 85톤 저감하고, 스틸 불량캔을 연간 83톤 저감하며, 폐유와 폐수를 저감할 수 있는 것으로 도출되었고, 경제적 효과로는 연간 3억원 이상을 절감하여 약 6개월만에 투자비를 회수할 수 있는 것으로 산출되었다.

감사의 글

본 논문은 환경청정기술연구센터(과학기술부·한국과학재단 지정 RRC)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

- Cottier S, Riquet AM, Feigenbaum A, Mortreuil P : Change of the structure of a can coating during contact with food simulants - an ESR study, *Polymer International*, 43, 4, pp.353-358 (1997)
- Rajmohan N, Szpunar JA : Stored energy in can body aluminium alloy after cold rolling and stress relieving, *Materials Science & Technology*, 15, 11, pp.1259-1265(1999)
- Utsunomiya H, Nishimura H : Effect of base profile of a DI beverage can and material properties on the dome reversal pressure, *Journal of Materials Processing Technology*, 97, 1-3, pp.54-60(2000)
- Hackworth MR, Henshaw JM : A pressure vessel fracture mechanics study of the aluminum beverage can, *Engineering Fracture Mechanics*, 65, 5, pp.525-539(2000)
- Hiroyasu S, Ken M, Koji T, and Itaru Y : LCI Analysis of Aluminum Can in Japan, *The Third International Conference on EcoBalance*, pp.421-424(1998)
- Toshihikio K. : Reduction of Environmental Loadings Attained by Recycling Aluminum Can, *The Third International Conference on EcoBalance*, pp.451-454(1998)
- Nakajima K. Ino H. Halada K. : Life cycle assessment of beverage cans, *Journal of the Japan Institute of Metals*, 64, 8, pp.591-596 (2000)
- 고순현, 민미연, 강명휘, 국가표준 LCI D/B 구축을 위한 시스템경제 설정방법론, (주)에코프론티어(2000)
- IKP, GaBi 3 Professional Documentation(1996)
- Goedkoop, M : The Eco-Indicator 95. RIVM Report 9523, Bilthofen(1995)
- UBA-Texte 37/00, Okobilanz für Getränkeverpackungen II(2000)
- SAEFL, Life Cycle Inventories for Packaging vol. 1(1998)
- 최용근 : 조선대학교 학위논문, 막분리기술을 이용한 캔 제조 공정폐수 재이용 기술개발에 관한 연구(2001)
- 김성우 : 대한금속학회회보, 금속용기(캔) 기술개발 동향과 스틸 캔의 수요확대 방향, 5, pp.547-559 (1997)
- 임차용 : 자원리사이클링, 알루미늄캔의 재활용 기술현황, 9, 2(2000)