

MFCA(물질흐름원가회계)와 LCA(전과정평가)의 비교가능성에 관한 시험적 연구*

육근효
부산외국어대학교 회계학부 교수
(yook@bufs.ac.kr)

.....

물질흐름원가회계(MFCA: Material Flow Cost Accounting)는 제조공정에 있어서의 물질(원재료와 에너지)의 흐름(flow)을 중심으로 물량과 금액 단위로 측정해서 배출되는 폐기물과 불량의 원가를 정확하게 계산하는 기법이다. 그런데 MFCA에서는 폐기물과 불량의 원가는 확정할 수 있어도 환경부하의 크기는 투입량으로만 파악할 수 있기 때문에 환경부하 저감 효과의 측정은 한계가 있다. 이러한 환경부하를 측정·평가하는 환경공학적 기법 중에 LCA (Life-Cycle Assessment: 전과정평가)가 있는데 이것과 MFCA를 비교함으로써 경제 효율 향상과 환경부하의 저감이라는 두 가지 목표를 동시에 달성할 수 있다. 이에 본 연구에서는 LCA와 MFCA의 비교 가능성을 검토한 후, 개념적으로만 제시되었던 MFCA와 LCA(특히 LCIA: Life Cycle Impact Assessment) 간의 비교가능성을 샘플기업을 대상으로 시험적으로 검토하고자 하였다. 분석 결과, 실제로 도입한 대상 제품에 대해서 각 공정 간의 상대적인 중요성이 MFCA에 의한 분석과 LCIA(특히 LIME)에 의한 분석 사이에서 큰 차이는 없었다. 그러나 원가항목별로 분석한 결과에서는 물질원가(재료원가)와 에너지 원가에 대해서 양 기법 간에 상이한 결과(명목금액)가 산출되었으나 이것도 상대적인 크기(투입 대비 산출)로 환산하면 모두 스프레이 공정이 개선해야 할 과제라는 것이 판명되었다. 이상에서 MFCA와 LCA의 비교 분석을 통해 경제와 환경의 양립을 추구하여 한정적이기는 하지만 경영의사결정에의 유효성을 높이는 가능성을 찾을 수가 있다. 즉 실제 사례분석을 통해 MFCA면에서의 절감 효과(경제면에서의 효과)와 LIME에 의한 LCA면에서의 환경부하 저감 효과를 가시화 할 수가 있고, MFCA에 의한 내부비용과 LCIA에 의한 외부비용을 합산한 총비용평가(FCA: full cost assesment)를 통해 친환경제품 개발 시의 원가상승과 사회적 비용 감축 간의 상관관계를 파악할 수도 있고 향후 탄소배출권 거래 등에 대비해 사회적 비용을 줄이는 방안을 마련하는 데도 유용한 정보를 제공할 수 있다.

주제어: 물질흐름원가회계, 전과정평가, 총비용평가, 물질손실, 환경경영, 물질수지

.....

1. 서론

20세기 말부터 환경경영(Environmental Management)이 기업경영의 새로운 패러다임으로 등장함에 따라 자연환경에의 영향을 기업의 경영의사결정에 고려하지 않고서는 기업의 장기적인 존속과 성장이 불가능하다는 것이 널리 인식되었다. 이런 인식 하에서 조직의 환경경영이 본격화됨에 따라 환경경영의 유효

성을 나타내는 환경경영 지표의 필요성이 불가결하게 대두하게 되었다. 환경경영 지표에는 여러 가지를 생각할 수 있으나 외부에 미치는 환경영향의 평가와 더불어 조직 내부의 영향 평가가 병행되어야 한다.

그런데 국내외를 막론하고 환경경영을 선진적으로 운용하는 기업에 있어서도 통합적인 환경경영 평가 지표를 설정해서 환경보고서(지속가능보고서) 등에 공개를 하고는 있으나, 대부분은 내부에의 영향 평

가에 초점을 맞추고 있으며 외부 환경영향의 통합 평가에 대한 고려가 충분히 이루어지지 않고 있다.

현재 환경영향을 나타내는 환경경영 지표 중에서는 조직 내부에의 환경영향을 평가하는 대표적 기법으로서 물질흐름원가회계(MFCA: Material Flow Cost Accounting)가 학계와 실무계에서 많은 주목을 받고 있다. 그것은 이 기법이 환경공학 분야에서 지금까지 연구해 온 물질수지(mass balance)나 생태수지(eco balance)와 같은 방법으로는 물질 투입이 중량으로 밖에 표현할 수 없는 한계를 물질의 원가와 통합함으로써 해결할 수 있기 때문이다. 이런 물질흐름원가회계(이하, MFCA)는 제조 프로세스에 있어서의 물질(원재료와 에너지)의 흐름(flow)을 물량과 금액 단위로 측정해서 공정에서 배출되는 폐기물의 원가를 정확하게 분류·계산함으로써 폐기물 삭감에 의한 자원생산성의 향상을 도모하는 기법이다.

그런데 MFCA를 기업 실무에 적용하면 원가절감 효과가 큰 만큼 기업 관계자의 관심은 원가 측면에만 치중하게 되는 경향이 나타난다(Nakajima 2009). 실제 MFCA를 도입한 많은 기업에서는 정도의 차이는 있지만 원가절감 추구가 일차적 목적이 되며, 환경보전은 부수적 목적이 되는 경우가 많다. 그것은 MFCA가 경제적 측면에서는 원가계산을 실시하면서 환경부하 면에서는 물량 수치만을 사용한다는 계산 구조상의 문제 때문일 것이다. 실제 MFCA를 기업 실무에 도입했을 때, 환경부하에 관한 정보는 원재료나 에너지의 투입·배출 중량만으로 파악되기 때문에 경제면에서의 원가정보에 비해 경영의사결정

에의 유효성이 낮았다.

이와 같이 MFCA에서는 폐기물의 원가는 확정할 수 있어도 환경부하의 크기는 투입량으로 밖에 파악하지 못하기 때문에 환경부하 저감효과의 측정은 한정적이 되지 않을 수 없다. 즉 MFCA에 있어서의 환경측면의 평가는 일반적으로 물질의 투입 물량이나 폐기물의 배출물량에 그치며 환경부하 저감효과의 정확한 평가까지는 실시하는 것이 어렵다는 것이다. 따라서 MFCA를 제품제조의 경제성 향상과 환경부하 저감의 동시 실현을 도모하는 환경경영 기법으로서 진화시키기 위해서는 폐기물 삭감에 의한 환경부하 저감효과를 보다 정확하게 측정하는 것이 필요하다.

이러한 환경부하를 측정·평가하는 환경공학적 기법 중의 대표적인 것으로 LCA(Life-Cycle Assessment: 전과정평가)가 있는데, 이것을 MFCA와 비교함으로써 폐기물과 불량품 등에 관한 경제적 금액과 외부환경영향에 대한 정보를 동시에 얻을 수 있다.

이에 본고에서는 MFCA와 동시에 LCA를 적용하여, 제조를 위해 사용된 물질과 에너지 그리고 폐기물(배출된 오염물질)을 정량화하여 물량뿐만 아니라 화폐액으로도 환경에 미치는 영향을 평가하는 것이 가능한지를 샘플기업을 대상으로 시험적으로 검토하고자 한다. 즉 LCA(구체적으로는 LCIA)¹⁾에 의해 기업이 발생시켰지만 직접 책임을 지지 않는 비용 즉, 외부비용과, MFCA에 의해 기업 내에서 폐기물 등의 물질손실을 경제가치(화폐액)로 계산한 비용 즉, 내부비용을 상호 비교 평가하여 그 차이를 인식하고 경영의사결정에 활용할 수 있는 가능성을 검토

1) LCA는 본래 4가지 절차를 거치는데 첫째는 무엇을 평가할 것인가(특정제품, 기업 활동), 어떻게 활용할 것인가(cost-benefit, 제품 설계) 하는 평가 목적과 조사범위의 설정하는 단계이다. 둘째는 프로세스 수준에서의 환경부하 산정과 제품 Life cycle 또는 기업 활동 전체에서의 환경부하를 산정하는 Life Cycle Inventory(전과정 목록분석)이며, 셋째 LCIA(Life Cycle Impact Assessment: 전과정 영향평가)는 목록분석(LCI)에서 나온 결과인 환경부하량 별로 환경영향을 계량화함으로써 주어진 시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 과정이다. 넷째는 결과를 검증하고 결과를 비교하는 결과해석 단계이다.

하는 것이다.

구체적으로는 MFCA에서 물질손실비용이 가장 큰 공정(내부비용 측면에서 개선이 요구되는 공정)과, 외부환경영향 측면에서 개선이 요구되는 공정에 대한 정보를 구한 다음, 환경과 경제적 관점에서 평가한 결과 즉 개선해야 하는 공정이 동일한지의 여부를 파악한다. 이것은 기업의 목적에 따라서는 어느 한 가지 정보만 사용할 때보다 합리적·체계적 의사결정이 이루어질 수 있기 때문이다. 예를 들어 지속가능보고서에 있어서 환경회계정보를 공시할 때 환경보전효과는 통상 물량으로 표시되지만(CO₂ 감축량 등) LCIA의 통합화에 적용시켜 화폐액으로 그 결과를 표시함으로써 환경보전비용 및 내부경제효과와 비교할 수도 있다. 그리고 MFCA에 의한 내부비용과 LCIA에 의한 외부비용을 합산한 총비용평가(FCA: full cost assesment)를 통해 친환경제품 개발에 따른 원가상승의 단점과 사회적 비용 감축의 장점 사이의 상충관계에 대해 파악하는 것도 가능하게 된다. 즉 이 2가지 기법의 결과를 상호 비교평가하거나 합산하여 분석함으로써 친환경제품의 설계에 피드백할 수 있는 정보를 기대할 수 있다는 것이다. 또한 향후 탄소배출권 거래 등에 대비해 사회적 비용을 감축하는 방안을 마련하는 데도 유용한 정보를 제공할 것이다.

이와 같이 환경공학적 접근법인 LCA를 확대하여 환경경영기법인 MFCA와 비교 평가하는 것은 기업 내부의 공정 개선은 물론 사회적 비용을 고려한 친환경설계 및 재료, 청정생산을 위한 설비투자 결정에도

유익한 정보를 제공할 수 있다.²⁾ 본 연구는 이런 관점에서 우리나라에서는 새로운 시도가 될 것이며 향후 관련연구에 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 내용은 다음과 같다. I 장 서론에 이어서, II 장에서는 MFCA와 LCA(LCIA) 기법의 이론적 배경과 특징을 비교하고 관련되는 선행연구를 검토하였다. III 장에서는 본 연구의 개념적인 틀을 설정하고, 표본기업의 대상 제품과 프로세스 및 연구방법에 관해 기술하였으며 IV 장에서는 본 연구의 분석결과를 제시하고 그 의미를 분석하였다. V 장에서는 논의와 시사점을 제시했으며, 본 연구의 한계와 향후 연구 방향을 기술하였다.

II. 이론적 접근과 선행연구의 검토

2.1 이론적 접근

MFCA와 LCA의 비교가능성을 논함에 있어서는 먼저 이 양자의 상호 관계를 정리해 둘 필요가 있다. MFCA의 기본 사고는 공정 최적화의 견해를 물질의 흐름을 파악하는 방법(flow management)으로 이해하며, 흐름에 있어서의 인과 고리를 보는 관점을 정형화한 것이다(Wagner and Enzler, 2006). MFCA는 양품(goods)과 불량품 또는 폐기물로 대표되는 물질손실(Loss)의 가치를 각각 세부적으로 산출해 내는 것이다.³⁾ 특히 물질손실의 가치를 각

2) MFCA와 LCIA(특히 LIME) 기법을 비교 평가하는 것의 장점은 구체적으로 다음과 같다. 첫째 제조방법과 설비 변경 등을 실시할 때 또는 사용재료를 변경하는 경우에는 기존의 방법과 생산 프로세스를 비교하여 물질손실(loss)로 되는 재료의 종류가 바뀌거나 물량이 크게 바뀔 수가 있다. 따라서 이러한 변경을 시도하기 전에 MFCA만이 아니라 LCA도 동시에 실시함으로써 제조원가 측면만이 아니라 환경측면의 영향을 정확히 평가하는 이점이 있다. 둘째 MFCA에 의한 개선안과 다른 생산개혁의 제안이 대립하는 경우, LCA와 병행 사용함으로써 원가절감 이상의 효과가 나타나는가를 증명할 수 있다는 것이다.

3) MFCA에서는 양품(goods)을 (+)제품, 불량이나 폐기물 등의 손실(loss)을 (-)제품으로 부르기도 한다.

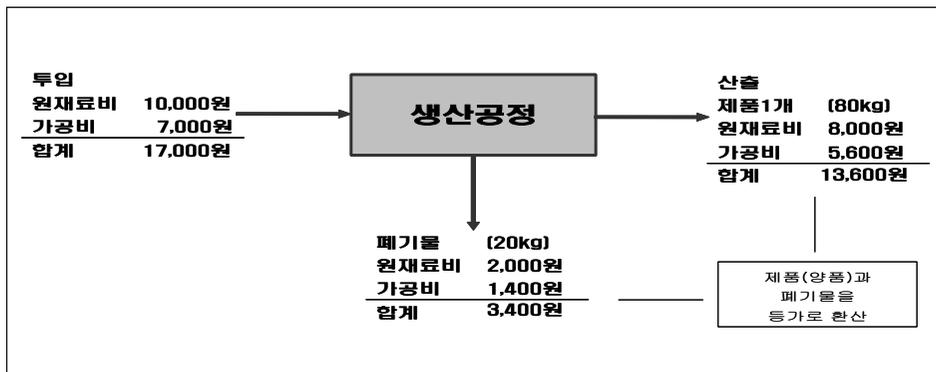
공정별로 재료원가, 에너지원가, 시스템원가, 폐기물 처리원가 등으로 세분하여 산출한다.

예를 들어 MFCA에서는 <그림 1>과 같이 원재료비 10,000원은 제품과 폐기물의 중량비에 따라서 8,000원과 2,000원으로 배분된다. 가공비를 어떻게 제품과 폐기물에 배부할 것인가에 대해서는 몇 가지 방법을 생각할 수 있지만, 가장 표준적인 방법으로서 원재료의 중량비를 기준으로 하면 5,600원을 제품에 1,400원을 폐기물에 배부하게 된다. 그 결과, MFCA에 있어서 제품 제조원가는 13,600원, 폐기물은 3,400원이 된다. <그림 1>에서 중요한 것은 폐기물 3,400원이라고 하는 정보이다. 전통적 원가계산에서는 폐기물은 20kg에 해당한 물질로서 이해되고 있지만, MFCA를 도입함으로써 그 물체는 3,400원에 상당한다는 것이 분명해졌다. 즉, 폐기물 처리비를 포함하지 않고 1개 당 3,400원분(제조원가 합계의 20%)을 버리고 있는 것이 되니까 기업으로서는 이 부분을 어떻게든 삭감하고 싶다고 생각할 것이다. 이와 같이 통상의 원가계산에서 구조적으로 간과되어 온 폐기물의 가치를 금액으로 평가하고 폐기물 삭감을 위한 동기부여를 해

주는 것에 MFCA의 특징이 있다.

한편 LCA는 제품이나 공정의 전과정(Life Cycle)을 고려하여 사용된 물질 및 에너지 그리고 환경에 배출된 오염물질을 규명하고 정량화하여 환경에 미치는 영향을 평가하는 기법이다. 그중에서도 LCIA(전과정 영향평가)는 주석1에서와 같이 LCA의 두 번째 단계에서 환경부하를 산정하는 LCI(전과정 목록분석)에서 나온 결과인 환경부하량 별로 환경영향을 계량화함으로써 주어진 시스템이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 과정이다.

LICA에는 물질비교형, 문제비교형, 피해산정형의 3가지가 있다. 물질비교형은 환경부하물질별로 가중치부여 계수를 설정해서 통합화하는 유형이고, 문제비교형은 환경부하물질을 영향영역별로 일단 특성화하고 나서 가중치부여하는 유형이며, 피해산정형은 영향영역을 다시 보호대상별로 그룹화해서 가중치 부여하는 유형이다. LCIA의 최신 방법(Eco-indicator99, EPS2000, ExternE, LIME 등)은 대부분 환경오염이 인간건강과 생물다양성 등에 최종적으로 미치는 피해량을 평가하는 피해산정 형식을 채택하고 있으나 목록(Inventory)이 동일하더라



출처: Strobel and Redmann(2001), IMU Augsburg. 구조를 일부 수정.

<그림 1> MFCA에서의 원가계산 기본구조

도 발생하는 피해량은 환경조건(기상, 인구밀도 등)에 따라 달라지므로 각국에서 이용할 수 있는 피해산정형 LCIA기법의 개발이 요구되고 있다.⁴⁾ 본고에서는 LCIA기법 중에서 LIME기법⁵⁾을 이용하는데 그것은 이 기법이 환경영향을 화폐단위로 평가할 수 있어 회계 모형인 MFCA와 가장 정합적으로 운용할 수 있기 때문이다.

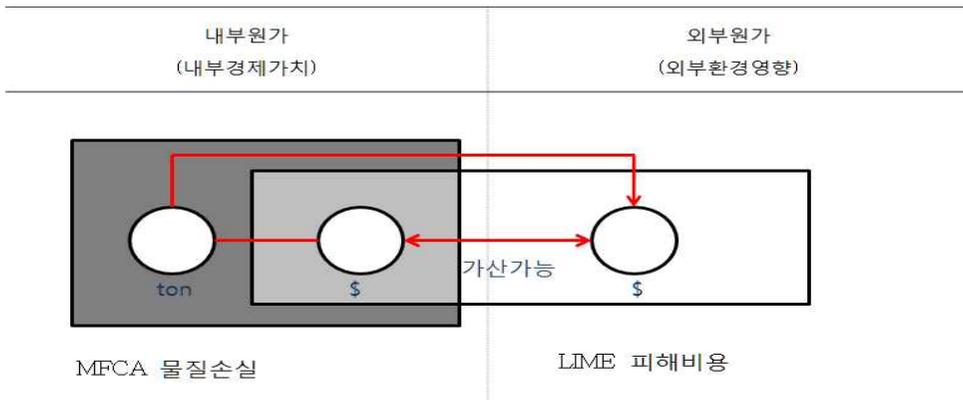
이상에서 살펴본 MFCA와 LCIA를 요약해서 대비해 보면, MFCA는 폐기물 등 제조과정에서의 물질손실과 관련된 내부원가를 산출해 내는 것이 목적인 반면에 LCIA는 기업이 환경오염물질을 배출했으나 환경피해를 책임지지 않는 외부비용(사회적 비용)을 평가하는 것이다.

그리고 <그림 2>에서와 같이 MFCA에서 산출되는 물질손실은 물량(kg, ton)과 금액으로 표시되며, 이 물량 값을 사용해서 환경영향통합평가 기법

에 의해 외부환경영향을 금액으로 환산할 수가 있게 된다. 이 경우에 LCIA기법인 LIME을 이용하면 물질손실에 의한 환경영향을 사회적 비용으로서 물질손실의 금액에 가산할 수가 있으며 그 감축량은 편익(benefit)으로서 계산할 수 있다.

이 이외에 본 연구에서 추구하는 MFCA와 LCA를 비교 평가하기 위해서는 몇 가지 점에서 MFCA와 LCA 계산의 사고에 관한 논리를 정리할 필요가 있다.

첫째 기본적으로 MFCA는 프로세스를 대상으로 하고 LCA는 원칙적으로 제품을 대상으로 하는 기법이다. LCA는 제품이 제조되는 공정을 평가하는 기법으로서는 지금까지 별로 이용되어 오지 않았으나 MFCA에서와 같이 공정의 환경부하를 평가하는 기법으로서 응용하는 것에 문제는 없다. 그것은 제품을 LCA로 평가하는 것은 그 구성요소를 파악



출처: MFCA회계수법도입가이드(2007, p.190) 그림을 저자가 수정

<그림 2> MFCA와 LCIA(LIME)의 개념 비교

4) 우리나라의 경우에도 박필주·김만영(2010)에서 피해산정형 모델에 기초한 한국형 LCIA지표인 전과정 영향평가지표(KOLID)를 제시하고 있다.
 5) LIME(Life Cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modelling)은 일본의 국가프로젝트 「제품수명주기 영향평가 기술개발」에 있어서 개발된 LCIA(전과정 영향평가기법)이다.

할 수 있다면 제품을 평가하는 경우와 동일하게 평가할 수 있기 때문이다. 다만 실제 적용에 있어서는 양자를 프로세스 혹은 제품의 어떤 수준에서 비교할 것인지를 결정할 필요가 있다(國部·山田 2007).

둘째, 측정의 범위에 관한 것이다. MFCA가 원칙적으로는 공장 내에 머무르는데 비해 LCA는 이론적으로는 전체 수명주기를 대상으로 하고 있어 차이가 있는 것처럼 보이나, MFCA가 대상으로 하는 원가정보는 과거의 원재료 채취로부터 구입까지 들어간 경제적 가치(비용)의 총계라고 할 수 있으므로 이 점에서 LCA와 조화를 이루고 있다.

셋째, 어떤 수준의 LCA를 MFCA와 비교하는가 하는 문제가 있다. 이론적으로는 모든 단계에서의 LCA 데이터는 MFCA 데이터와 비교가 가능하다. 그러나 MFCA를 기업 단위로 적용하는 경우에는 제품의 사용·폐기 단계는 계산에 포함되지 않는다. 또 사용 단계의 LCA 계산은 과도하게 복잡하게 될 우려가 있다. 따라서 이 단계는 MFCA와 LCA의 비교 평가의 범위 밖으로 하고 제조단계(다만, 제조 단계에 생기는 폐기물 처리의 단계는 포함한다)까지를 그 대상 영역으로 하는 것이 합리적이다. 본고에서는 기업이 구입하는 재료와 에너지(전력)를 얻기까지 발생하는 환경부하와 그것을 기반으로 제조하는 공정에서의 환경부하 부분이 MFCA와 LCA의 비교 평가의 범위가 된다.

2.2 선행연구의 검토

MFCA의 기본개념은 2000년에 독일 Augusburg

에 있는 경영환경연구소(Institut für Management and Umwelt: IMU)에서 창시되었다. 그 후 MFCA는 2003년에 독일 환경청이 발간한 「환경원가관리 가이드(FEM/FEA, 2003)」에서 환경관리회계의 주요 기법으로 자리잡게 되었다. 이어서 IMU의 설립자인 와그너 교수(Wagner, B)가 중심이 되어 간행한 저서(Wagner and Enzler, 2006)에서는 원가효율과 환경성과를 개선시키는 도구로서 물질흐름 관리기법을 제시하고 있다. 또한 Hinderberg 등(2003)에서는 경제학 분야에서 국가경제 전체 수준에서의 물질순환회계(산업연관표의 일종) 접근법을 소개하고 있다.

UN의 지속가능개발부(Division of Sustainable Development: UNDSO)에서도 2001년에 「환경관리회계: 절차와 원칙」, 「환경관리회계: 정책과 연계」라는 보고서 속에 물질흐름을 지향하는 환경회계에 관한 내용을 포함하고 있다. IFAC(2005)에서도 환경관리회계기법의 한가지로서 MFCA를 설명하고 있다. 그리고 MFCA가 2011년 9월에 국제표준화(ISO 14051)로 발행됨에 따라 MFCA의 도입 사례가 세계적으로 확산되고 여기에 관한 연구성과도 나오고 있다. 예를 들면 지금까지 환경관리회계 연구를 체계적으로 견인해 온 Jasch(2008)의 연구서에서도 MFCA의 이론적 전개와 맥주회사의 사례를 게재하고 있다.

일본에 있어서의 MFCA 선행연구는 크게 經濟産業省의 위탁사업⁶⁾ 실시에 의한 성과보고서와 연구자를 중심으로 한 이론적 연구 및 기업도입 사례연구로 대별된다. MFCA의 이론적·기법적 기초개념

6) 먼저 경제산업성의 위탁사업은 크게 「MFCA의 기법개발과 기업사례」와 「기업사례에 의한 MFCA의 보급」으로 양분된다. 여기서 전자는 산업환경관리협회를 중심으로 기법을 개량·개선함으로써 공정에서의 자원생산성 개선을 위한 연구과제를 다루었으며, 후자는 일본능률협회 등이 중심이 되어 MFCA 도입에 관한 업종의 확장성과 공급사슬에서의 도입사례 등을 실시한 후의 사업성과를 매년 공표하고 있다.

에 관해서는 전통적 원가계산과 MFCA와의 차이에 관한 연구를 들 수 있으며 (中嶋·國部 2008 등), 그리고 MFCA가 환경관리회계에 있어서 차지하는 중요성에 관해서는 柴田(2006), 國部 등(2007)이 있다. 또한 공급사슬 전반에 걸친 MFCA 도입에 관한 사례에 관해서는 東田(2008), 下垣(2008) 등이 있다. 최근에는 MFCA의 국제표준화(ISO) 작업에 수반하는 조사와 기업실무와의 관련성에 대해서도 古川(2007) 등의 연구가 보고되고 있다.

우리나라에서 MFCA 연구는 그 중요성에 비추어 이론 및 사례연구 모두 충분하게 이루어지지 않고 있다. 국내의 선행연구를 보면 정재연 등(2004), 김정남(2006), 김중대 등(2007, 2012 등), 정길채(2008)를 중심으로 MFCA의 기초 개념과 도입 및 적용사례가 제시되어 있다. 실무적으로는 산업자원부의 보고서(2007) 등이 있으며 이론적 연구에 해당하는 것으로서는 육근효(2009)가 있다. 한편 LCA에 관한 연구는 질적·양적으로 상당히 발전되었으나 LCA와 MFCA를 연계한 연구는 소수에 그치고 있다. 예를 들어 國部 등(2012)이 MFCA와 탄소발자국(CFP: Carbon Footprint of Products)의 통합가능성을 가상사례에 의거하여 시도한 연구 등에 한정되어 있다. 古川(2009)와 伊藤(2010)의 연구도 있으나 이것들은 MFCA의 관점에서 CO₂ 평가정보의 통합을 검토하고 있으며 실제로 탄소발자국을 분석한 것은 아니다. 김만균(2006)의 연구에서 LCA를 이용한 부품원가 분석을 시도하고 있으나 이것은 엄밀히 말하면 LCA가 아니라 LCC(수명주기 원가계산)를 취급한 연구라고 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 선행연구를 추가·확장하여 MFCA의 고도화 작업으로서 LCA에 바탕을 둔 다양한 환경평가 기법과의 연계를 이론적 측면과 실제 적용 데이터를 체계적으로 파악하고, 이 2가지 기법

에 관련된 정보를 비교 분석한다. 나아가 MFCA-LCA의 환경경영 측면에서의 유용성과 이익에 공헌하는 환경회계 측면의 기능에 대해서도 병행해서 분석한다.

III. 연구방법과 연구설계

3.1 연구방법과 연구모형

MFCA와 LCA 결과를 비교 평가하기 위해서는 2가지 접근방법을 생각할 수 있다. 첫째는 MFCA를 도입하고 있는 공정에 대해서 원재료의 투입과 산출의 관계를 LCA 평가함으로써 양자를 비교하는 방법이다. 이것은 제조 프로세스 개선에 있어서 MFCA가 물량 단위의 환경부하 정보 밖에 제공할 수 없다고 하는 한계를 극복하기 위한 접근법이다. 또 한 가지는 LCA로 환경영향을 평가한 제품에 대해서 그 생산라인에 MFCA를 응용하여 보다 효과적인 원가 절감과 환경부하 저감을 목표로 하는 방법이다. 이것은 MFCA와 LCA의 시스템적인 비교 평가라고 하는 의미보다도 경영기법으로서 활용하는 측면에서의 비교이다.

본 연구에서는 전자의 유형을 채택하는데 그것은 이미 MFCA를 도입하고 있는 한정된 소수의 기업 중에서 샘플기업을 선택해야 하며 비교 평가의 실행 가능성을 높일 수 있기 때문이다.

또한 본 연구에서는 LCA 중에서도 환경영향의 통합 기법인 LIME(Life Cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modelling)을 수정한 LIMEII와 MFCA 결과를 비교 평가하는 접근법을 시험적으로 검토하는 것을 목적으로 한다.

LIME은 일본에서 국가프로젝트 「제품수명주기 영향평가기술개발」에 있어서 개발된 LCIA(전과정 영향평가기법)이다. LIMEⅡ를 이용하는 것은 이 기법이 환경영향을 화폐단위로 평가할 수 있어 회계 모형인 MFCA와 가장 정합적으로 운용할 수 있기 때문이다. 그리고 LIME을 활용하면 방법론과 더불어 환경부하 물질별로 계수 리스트를 공개하고 있으므로 실시자는 특별한 지식이 없어도 환경부하의 데이터와 이것에 대응하는 계수 리스트의 선형 계산에 의해 환경영향의 평가를 할 수 있다(伊坪·稻葉 2005). 즉 환경영향의 통합화는 다음 식에 의거해 통합화 계수($IF_{S,IC}$)와 환경부하물질의 목록($Inv_{.s}$)만 있으면 용이하게 실시할 수 있다.

$$SI = \sum_{IC} \sum_S (IF_{S,IC} \times Inv_{.s})$$

- 여기서 SI: 환경영향의 단일 지표
- IC: 영향 영역(예를 들면 지구 온난화, 산성화 등)
- S: 환경부하 물질
- IFs: 통합화 계수
- INV_{.s}: 환경부하물질의 목록(Inventory)

본 연구의 경우, MFCA를 통해서 소위 부(-)의 제품이라고 부르는 폐기물의 구성요소별 중량이 구해지므로 이 결과에 대해서 해당 제품 단위량을 제조하기까지 발생할 수 있는 환경영향을 곱함으로써 폐기물에 수반하는 외부원가의 계산을 실시한다.

환경영향의 통합화 계수($IF_{S,IC}$)는 이미 기존 문헌에서 공개되고 있으므로, 위의 식에 따라 환경영향의 통합화 지표를 구할 때 환경부하의 데이터(목록 데이터, $Inv_{.s}$)가 필요하게 된다. 환경부하량(환경

부하 원단위)를 계산하기 위한 데이터는 LCA에 있어서의 기초 연구를 통해서 여러 기관이 데이터베이스로서 공개하고 있다. 우리나라에서는 환경산업기술원과 생산기술연구원(국가청정생산지원센터)에서 국가 프로젝트의 일환으로서 각각 LCA전용 소프트웨어 TOTAL과 PASS를 개발했다. 이 데이터베이스에 포함되지 않은 물질은 스위스 대학연구기관이 구축한 데이터베이스 ecoinvent를 사용한다.

3.2 연구의 설계

MFCA와 LCA는 각각 복잡한 계산과정을 가지는 시스템이기 때문에 양자를 비교하기 위해서는 어느 정도 계산 범위와 순서를 정해 둘 필요가 있다. 먼저 기업의 제조공정에 있어서의 전체 환경부하를 측정하기 위해서는 기업에서 사용하기 위해 획득하는 재료와⁷⁾ 에너지(전력)를 얻기까지 발생하는 환경부하(A: 그림 2의 상단의 왼편 점선 부분)와 제조단계에서 새롭게 발생하는 환경부하(B: 그림 2의 상단의 오른쪽 점선 부분)와 제품으로서 산출된 물질이 사용과 폐기단계에서 발생시키는 환경부하(C)를 모두 파악할 필요가 있다.⁸⁾ 그러나 C에 대해서는 전부를 포착하기 어렵고 생산자 관점에서의 비교가 목표이기 때문에 이번 연구에서는 이것을 제외하고 환경부하의 외부원가를 LIME을 사용하여 측정하는 것으로 했다.

본 연구에서의 계산 절차는 구체적으로 다음과 같이 실시한다.

(1) 계산의 준비

먼저 MFCA 계산모형을 준비해야 하는데, 일

7) 원재료를 생산하기 위해 원료채굴에서부터 수송과 가공을 거쳐 사용재료가 완성되는 것을 의미한다.
8) 일부의 선행연구(國部·山田 2007 등)에서는 사용재료의 구입 단계에서 발생하는 환경부하(A 부분)만을 중심으로 하여 분석하고 있다.

반적으로 제조 프로세스에 따라서 재료의 종류별로 투입물량과 정(+)의 제품 물량, 부(-)의 제품(불량품, 폐기물) 물량을 정리해 둔다.

(2) 재료 종류별의 LCA의 실시

LCA 분석 대상인 투입 재료나 에너지, 배출물, 폐기물별로 LCA의 목록 분석과 영향 평가를 실시해서 「LIME 통합화 계수(원/kg)」를 산출한다.

(3) 공정별 LCA의 실시

LCA 분석 대상인 3가지 공정별로 LCA의 목록 분석과 영향 평가를 실시해서 공정별로 환경영향을 계량화함으로써 환경에 미치는 영향을 화폐액으로 평가한다.

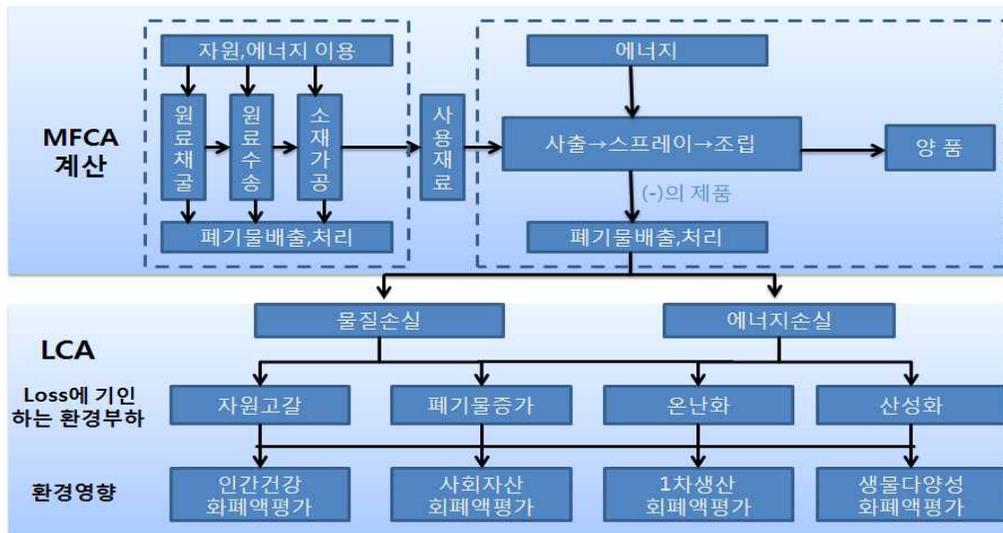
(4) MFCA 계산의 각 항목에 대한 LCA의 실시

MFCA 계산 안에서 사용하는 원재료의 단가,

에너지의 단가 및 폐기물 처리의 단가를 LIME 통합화 계수로 치환하고 이어서 3가지 제조공정에서 발생하는 환경영향을 양품과 불량품(또는 폐기물)에 배분한다.

(5) MFCA와 LCA의 비교 평가의 실시

부(-)의 제품(불량품, 폐기물)에 관한 MFCA 계산 결과와 거기에 대응하는 LIME에 의한 LCIA 계산 결과를 비교 평가한다. MFCA와 LCA의 계산 결과를 어떻게 분석하는가는 이용 목적에 따라 다르지만 본 연구에서는 MFCA면에서의 계산 결과와 LCA면에서의 계산 결과를 대비함으로써 공정의 개선 포인트가 동일한지의 여부를 판단한다.



출처: MFCA회계수법도입가이드(2007, p.187) 그림을 저자가 수정

〈그림 3〉 MFCA와 LCA 기법의 비교평가 모형

IV. 시험적 분석과 결과의 해석

4.1 S기업의 개요와 물질수지분석

4.1.1 기업개요

S기업은 자동차부품 및 위성방송수신기의 사출 및 후가공을 하는 업체이다.⁹⁾ 물질수지분석을 위해 가장 보편적이고 많이 생산되는 제품을 선정하였는데, 분석 대상 제품은 Front/Panel이며 1일 생산량은 15,000PCS 이다. 각 공정별 투입과 산출에 관한 데이터는 <부록 1>과 같으며 대상 제품 제조공정도를 파악한 결과, 대상 제품 생산은 크게 사출공정, 스프레이(spray)공정, 조립공정으로 구분할 수 있으며, 각 공정별로 물질수지를 분석하였다.¹⁰⁾ 또한 각 공정별 전력사용량을 산출하기 위한 기초자료로 사용기기의 가동시간과 시간당 소비전력(kwh)을 파악하였다.

4.1.2 공정별 물질수지분석

(1) 사출공정 물질수지분석

사출공정에 대한 물질수지분석 결과를 하루 생산량 기준으로 작성하였다. 원자재로 투입되는 ABS (Acrylonitrile -butadiene- styrene Resin)은 한 포대에 25kg이고, 물질수지 분석 시 사용한 데이터는 조사 기간 내 측정된 데이터를 사용하였다. 가포장되는 골판지 상자는 100% 재활용되고 사출

공정 후 발생하는 스크랩은 파쇄기로 파쇄하여 전량 재사용되며, 전력사용량은 시간당 소비전력 × 가동시간으로 산출하였다.

(2) Spray 공정 물질수지분석

Spray 공정에 대한 물질수지분석 결과를 하루 생산량 기준으로 작성하였다. Spray 작업 시 투입되는 페인트와 신나의 투입 비율은 약 1:1.5 이고 각각 하루 투입량은 50kg/day, 75kg/day 이다. Spray 작업 시 배출되는 페인트 loss의 경우 컨베이어 벨트에 묻은 페인트는 지정폐기물로서 정기적으로 처리업자를 통해 처리되며, 신나의 경우 페인트가 고착하는데 사용되는 보조제로 spray시 바닥으로 배출되는 양을 제외하고 대기 중으로 모두 배출되는 것으로 설정하였다.

Spray 공정이 이루어지는 부스에서는 Spray 작업 완료 후 매일 세척 작업이 이루어지고, 1개월 기준 약 30회 정도 실시되며 이때 세척제로는 신나를 사용한다. 제품 1개에 투입되는 페인트량은 Spray 공전 전후의 무게 차이와 페인트의 고착율을 고려하여 산정하였고, 그 값은 약 0.7g 으로 나타났다. Spray 공정 시 사용되는 컨베이어 벨트는 조립공정까지 이어져 사용되므로 컨베이어 벨트의 전력사용량은 조립공정에 포함시켰다.

(3) 조립공정 물질수지분석

조립 시 추가적으로 투입되는 것은 포장 시 사용되는 포장재만 존재하며 공정검사를 통해 배출되는 불량품은 전량 폐기처분 된다. 컨베이어 벨트의 전

9) 본고에서 사용된 사례기업은 2008~2010년도에 걸쳐 지식경제부의 『물질흐름원가회계(MFCA)의 확산과 국제표준화대응을 위한 시스템구축』 사업에 참여한 기업이며, 김종대(2012)에서 사용된 샘플 4개 기업 중의 하나인 S기업과 동일하다.

10) 샘플 제품의 각 공정별 불량률 및 재사용률은 다음과 같다. 사출공정의 불량률은 2.5% 재사용률은 100% 이며, 스프레이공정의 불량률은 1.3% 재사용률은 80% 이고 조립공정은 불량률이 1.3% 재사용률은 0%이다.

력사용량은 시간당 소비전력이 별도로 표시되어 있지 않아 하루 전력 사용량과 일반적인 컨베이어 벨트의 소비전력을 활용해 추정하였다. 포장재는 납품 업체에서 수거하여 평균적으로 약 3회 정도 재사용된다.

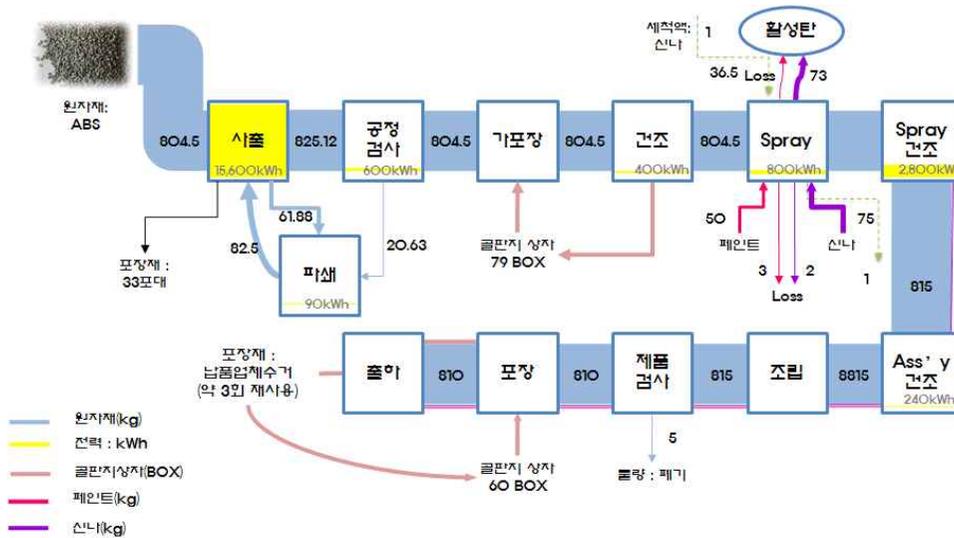
4.1.3 물질수지도

물질수지표를 활용하여 물질수지도를 작성하여 <그림 4>에 나타내었다. 하루 생산량인 15,000 PCS 기준으로 작성하였으며, 전력은 투입량으로 별도 표시하였고 3가지 공정으로 구분하여 제품의 경로로 나타내었다.

4.2 물질흐름원가의 계산결과

4.2.1 물량센터와 원가중심점(cost center)의 설정

S기업에 MFCA를 적용하기 위한 물량센터는¹¹⁾ 사출공정과 스프레이 공정, 그리고 조립공정의 세 개로 구성하였다. S기업 대상공정의 경우 앞서 설정한 물량센터와 원가중심점(Cost Center)이 일치하고 있다. 이 기업은 1일 15,000개 기준으로 24일 가동(월평균 360,000개 생산 가정)하고 있다. 이 기업에서는 원가중심점별로 Material Cost(원재료 및 부재료 등), System Cost(인건비 및 감가상각비 등), Utility Cost(에너지 및 용수 등), 폐기물 처리비용 등의 원가를 집계하고¹²⁾ 있다.



<그림 4> S기업 Front Panel의 물질수지도

11) MFCA에서는 제조공정에서 폐기물이 생기는 포인트마다 측정하는 것을 원칙으로 하며 측정 포인트는 물량센터라고 부르며 물량센터는 공정의 수보다는 적은 것이 일반적이다. 단 본고에서는 물량센터와 공정을 동일한 의미로 사용한다.

12) 기업 내부의 중요한 사안임을 감안하여 위에 제시된 모든 수치는 일정한 기준에 의해 가공된 데이터이다.

4.2.2 물질손실(Loss)원가 계산

원자재(ABS수지)는 초기 투입된 물량센터1에서 물량센터3까지 흘러간다. 물량 센터1(사출)에서는 원자재(ABS) 8,109,360원 스크랩(ABS) 831,600원 상자(골판지) 432,288원이 투입되고, 물량센터2(Spray)에서는 페인트 2,160,000원, 신나(spray) 1,152,000원 신나(세척) 12,000원이 투입되고, 물량센터3(조립)에서는 포장재 530,000원 등이 신규 투입된다.

물량센터 별 Loss 비율 계산을 보면 물량센터1(사출)에서는 Loss율 0%(사출에서 스크랩이 발생하나 전량 재투입됨으로 Loss로 볼 수 없음)이나, 단, 에너지원가(Utility Cost)의 경우 이를 Loss로 산정하였다. 물량센터2(Spray)에서는 배출되는 페인트와 신나의 양(금액)을 Loss로 파악하였다.

물량센터3(조립)에서는 공정검사에서 불량으로 확인된 양만큼을 Loss 비율로 파악하였다(5/(5+810)). 분석결과 물량센터 별 원부자재 Loss비율은 물량센터1(0%), 물량센터2(1.26%), 물량센터3(0.59%)로 나타났다.(부록 참조)

에너지원가(Utility Cost)는 에너지에 관한 원가로 본 분석대상에서의 에너지원가는 전력비만 해당되며 에너지원가에 대한 Loss 원가는 물량센터 전체를 통해서 56,400원인 것으로 분석되었다. 폐기물 관련 처리비용은 물량센터2에서 63,396원 발생하였다.

4.3 MFCA와 LCIA(LIME) 계산결과 비교

4.3.1 공정별 MFCA와 LIME결과의 비교

S기업의 제조라인의 물량센터(공정)는 사출→스

제조공정		사출(물량센터1)	스프레이(센터2)	조립(물량센터3)	합계
신규투입 원가	합계	12,974.0	4,610.0	595.0	18,179.0
	신규투입재료원가	9,373.0	3,324.0	530.0	13,227.0
	신규투입에너지원가	3,601.0	1,286.0	65.0	4,952.0
앞공정에서 전입된 원가	합계	0.0	12,941.0	17,367.0	
	전입재료원가	0.0	9,373.0	12,537.0	
	전입에너지원가	0.0	3,568.0	4,830.0	
공정별 투입원가합계	합계	12,974.0	17,551.0	17,962.0	
	투입재료원가합계	9,373.0	12,697.0	13,067.0	
	투입에너지원가	3,601.0	4,854.0	4,895.0	
(+)제품원가	합계	12,941.0	17,367.0	17,884.0	
	(+)제품재료원가	9,373.0	12,537.0	12,990.0	
	(+)제품에너지원가	3,568.0	4,830.0	4,894.0	
(-)제품원가	합계	MFCA 33.0, LIME 5.6	MFCA 246.0, LIME 37.4	MFCA 78.0, LIME 0.9	MFCA 356.4, LIME 43.9
	(-)제품재료원가	0.0, 0.0	160.0, 32.3	77.0, 0.8	237.0, 34.1
	(-)제품에너지원가	33.0, 5.6	23.0, 3.1	0.4, 0.1	56.4, 8.8
	(-)폐기물처리비	0.0, 0.0	63.0, 2.0	0.0, 0.0	63.0, 2.0

〈그림 5〉 MFCA와 LCA(LIME)에 의한 공정별 원가계산의 결과 (단위: 천원)

스프레이 → 조립의 3개 프로세스이며 1일 15,000PCS 생산에 대한 계산결과를 나타내었다. 예를 들어 사출공정에서의 (-) 제품의 에너지원가(〈표 1〉의 사출공정에서의 수치 5.6천)를 LIME에 의해 계산하면 다음과 같다. 먼저 전력 1kwh 생산에 대한 환경영향 목록을 보면 CO₂가 4.17E-1kg 발생하고,¹³⁾ 여기에 각각의 LIME에 이미 계산되어 있는 CO₂의 통합화계수(1kg 배출당 환경영향의 경제가치액) CO₂ 2.77(円/kg)을 곱하면 탄소의 환경영향평가액 즉 사회적 비용이 계산된다. 이 이외에 전력 1kwh 생산에는 CH₄ 9.40E-6kg, N₂O 1.94E-5kg 등의 다양한 환경부하물질 목록 항목이 나타나며 여기에 이미 계산되어 있는 각각의 물질에 대한 통합화계수인 CH₄ 7.33+01(円/kg), N₂O 8.73+02(円/kg) 등을 곱하여 합산하면 1kwh에 약 3.55원의 경제적 피해금액이 산출된다. 이 수치를 환율과 우

리나라의 구매력평가를 감안하여 환산하면 1kwh에 약 36원이 된다. 이 금액을 기초로 사출공정 (-) 제품의 에너지손실에 대한 환경영향평가액을 계산하면 약 5,580원이 된다.¹⁴⁾

스프레이공정의 (-)제품에 대한 물질원가는 원재료의 구입단계까지 발생한 환경영향평가(A)와 제조공정 과정에서 발생한 환경영향평가(B)의 2가지로 구성된다. 예를 들어 원재료 구입 단계를 기준으로 스프레이 공정에서의 (-)제품에 대한 물질손실 평가액을 LIME을 이용해 구하면 14,630원이 나온다. 이에 대한 산출과정은 다음과 같다. 먼저 페인트 50kg이 투입된 것 중에서 바닥으로 배출된 것이 3kg, 대기 중 포집된 것이 36.5kg 이며 또한 신나가 75kg 투입된 후에 바닥으로 배출된 것이 2kg, 대기 중 포집된 것이 73kg 이다. 페인트 1kg 구입 시점의 환경평가액은 약 190원이며¹⁵⁾ 신나 1kg의

〈표 1〉 MFCA와 LIME의 공정(물량센터)간의 Loss원가 비교 (단위: 천원)

		사출	스프레이	조립	합계
MFCA	물질원가	0.0(0.0%)	160.3(67.6%)	76.9(32.4%)	237.2(100%)
	에너지원가	33.5(58.9%)	23.0(40.4%)	0.4(0.7%)	56.9(100%)
	소계	33.5(11.4%)	183.3(62.3%)	77.3(26.3%)	294.1(100%)
LIME	물질원가(원료)	0.0(0.0%)	14.6(95.4%)	0.7(4.6%)	15.3(100%)
	물질원가(제조)	0.0(0.0%)	17.7(94.1%)	0.1(5.9%)	18.8(100%)
	에너지원가	5.6(63.6%)	3.1(35.2)	0.1(1.1%)	8.8(100%)
	소계	5.6(13.4%)	35.4(84.5%)	0.9(2.1%)	41.9(100%)

- 13) 전력 1kwh를 생산하는 경우에 발생하는 각종 환경부하물질을 LCA계산 소프트웨어(MiLCA)를 사용해 산출하면 CO₂ 4.17E-1kg, CH₄ 9.40E-6kg, N₂O 1.94E-5kg 등의 수치 목록(inventory)를 얻을 수 있다.
- 14) 일본자원에너지청 전력가스사업부의 '전기요금의 각국비교에 대해서'라는 보고서(2011년8월)에 의하면 구매력평가환산에 의한 한국과 일본의 1kwh 산업용 전기요금은 각각 \$0.092와 \$0.129로 나타났다. 또한 엔화 환율을 1円=14.5원으로 환산하면, 3.35円 * 14.5원 * (0.092/0.129) = 36원/kwh 로 된다. 그런데 (-)제품의 에너지원가가 사출공정의 투입원가에서 차지하는 비율이 33/3601 (0.92%)이 되므로 환경영향평가액(LIME)은 36원 * 16,290kwh * 0.92% = 5,580원이 된다.
- 15) 페인트(도료) 1kg을 생산하는 데 아이소프로필 알코올, 톨루엔, 아나타제, N-부틸 알코올이 45% 30% 18% 7%의 비율로 혼합되어 완성된다. 이것을 기초로 페인트 1kg완성에 CO₂가 4.365kg 배출되며 기타 다양한 환경오염물질이 부수적으로 발생한다. 여기에 통합화계수(CO₂의 경우에는 2.77(円/kg)이다)를 곱하여 합산하면 면 약190원으로 환산된다. 동일한 방식으로 계산하면 신나 1kg은 약 95원의 환경평가액이 산출된다.

환경평가액은 약 95원 이므로 (-)제품에 대한 페인트 환경평가액은 7505원(=190원 * 39.5kg)이며 신나의 환경평가액은 7125원(=95원 * 75kg)이 된다.

한편 ABS수지, 페인트, 신나 등을 투입한 스프레이공정의 제조과정에서 발생한 환경영향평가총액은 181,230원인데¹⁶⁾ 이것을 스프레이 공정의 투입물량에서 (-)제품이 차지하는 CO₂배출량 비율(9.78%)에¹⁷⁾ 따라 배분하면 각각 17,724원이 된다.¹⁸⁾

〈그림 5〉와 〈표 1〉을 보면 MFCA에 의한 손실금액이 LIME에 의해 평가된 명목금액에 비해 상당히 큰 것을 알 수 있다. 그것은 MFCA의 계산에서는 물질별, 공정별 (-)제품의 물량에 원재료 등의 실제 단가를 곱하며, LIME에서는 물량 값에 LIME통합화 계수를 곱하여 환경에 미치는 영향을 화폐액으로 결과를 계산하기 때문이다. 일반적으로 환경영향평가액은 환경으로 인한 피해액을 추정하여 산정하는데 이때 설문조사 등을 이용하여 지불의사액(willingness to pay)을 구하는데 이것이 실제 시장에서의 재료비보다 작게 산출되는 경향이 있다.¹⁹⁾ 즉, 〈표 1〉에서 3가지 공정의 Loss합계액을 보면 LIME에 의한 외부원가의 크기는 41.9천원으로 MFCA에 의한 내부원가 294.1천원의 14% 정도에 그치고 있다.

이 수치가 중요한 의미를 갖는 것은 공정상에서

개선해야 하는 곳이 어디인가를 2가지 기법을 활용하여 확인하는 것도 필요하지만, 또한 MFCA에서 중요하게 평가되는 공정과 환경부하가 큰 공정은 반드시 일치해야 하는 것이 아니므로 이 2가지를 비교해보면 LIME을 적용함으로써 환경부하가 큰 공정과 경제가치가 중요한 공정을 식별할 수가 있다.

MFCA와 LIME에 의한 공정별 Loss금액을 비교해 보면(표 1 참조) 스프레이 공정에서 모두 가장 큰 외부원가가 발생하지만(각각 62.3%, 84.5%) 사출공정에서는 MFCA보다 LIME에 의한 Loss금액의 비중이 높게 나타나며 조립공정에서는 역으로 MFCA보다 LIME에 의한 Loss금액의 비중이 낮게 나타나는 결과를 보여주고 있다.

이것은 MFCA에서는 조립공정에서 Panel조립이 끝난 후 제품검사과정에서 불량으로 판정난 것이 5kg(완성품 810kg)인데 여기에는 ABS powder를 투입하여 사출공정을 거치고 다시 스프레이 공장에서 페인트 고착 등에 추가로 사용된 원가 등이 누적적으로 가산되어 있다. 즉 MFCA의 특성이, 동일한 1kg의 불량이나 폐기물이 발생하더라도 공정이 진행될수록 가공비가 추가되어 1kg에 대한 가치가 증대되는 것이기 때문이다. 반면에 LIME에서는 조립공정의 제품검사에서 불량인 된 5kg 중에는 대부분 사출과 스프레이 공정에서 이미 환경에 미치는 영향이 각각 반영되었으며 조립공정 자체에서 환경영향

16) 〈부록 2〉에 나타난 바와 같이 이 수치는 먼저 LCA평가 소프트웨어 MiLCA를 이용해서 인간건강과 사회자산 등에 미치는 환경영향을 구한 다음 여기에 LIME에 의한 경제환산계수를 곱해 원화로 산출하였다.

17) ABS수지 804.5kg, 페인트 50kg 신나 75kg의 각각의 CO₂배출량을 합산하면 2998.3(804.5*3.727kg)+ 218.25 (50kg*4.365) + 157.45(75*2.1kg)=3,374kg이 되는데 이 중에서 (-)제품인 페인트 39.5kg와 신나 75kg의 CO₂배출량은 9.78%(=330kg/3374kg)을 차지한다.

18) CO₂ 배출량 대신에 사용원료의 환경평가액을 기준으로 배분하는 것도 생각할 수 있다.

19) 일반적으로 소비자들의 환경영향에 대한 피해의 인식은 강하지만 환경피해를 회피하기 위해 본인이 실제로 지불하고자 하는 의사(금액)은 상대적으로 크지 않기 때문이다. 즉 환경에 관한 가치판단은 일상적인 구매행동과는 다르다는 것이다. 또한 LIME에서는 임업이나 물에 대한 영향의 경제가치가 누락되어 있는 등 모든 항목을 포함할 수 없기 때문이다. 예를 들어 일본의 1년간의 경제활동을 통해서 발생하는 환경영향의 경제가치는 약 36조엔으로 추산되는데 이것은 일본 전체의 GDP 520조엔(2006년 기준)의 약 7%에 지나지 않는다(伊坪·稻葉 2010).

에 미치는 환경부하는 극히 작기 때문이다.

구체적으로 살펴보면 MFCA에 의하면 (-)제품 즉 loss와 폐기처리에 357천원(전체투입원가 17,962천원의 2.0%), LIME의 환경영향에 의하면 loss와 폐기처리에 43.9천원(전체 LIME값 1,440천원의 3.1%)로 되었다.

4.3.2 원가 종류별 MFCA와 LIME결과의 비교

(-)제품의 재료(물질)원가를 사출, 스프레이, 조립의 공정별로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 MFCA에 의한 (-)제품의 결과를 보면 각각 0.0%, 67.6%, 32.4%가 공정별로 차지했으며 LIME의 결과는 각각 0.0%, 95.4%, 4.6%를 차지하고 있다. 2가지 방법 모두 스프레이 공정에서 가장 (-)제품의 금액(loss)이 크게 나타났다.

다음으로 (-)제품에 대한 에너지 원가(전기)를 공정별로 살펴보면 먼저 MFCA에 의한 경우는 각각 58.9%, 40.4%, 0.7%로 나타났으며 LIME에 의한 결과는 63.6%, 35.2%, 1.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 즉, 에너지원가에 한정해서 보면 MFCA와 LIME 모두 사출공정에 초점을 맞추어 에너지 개선방안을 모색하는 것이 경제면에서 원가를 삭감하고 환경부하도 삭감할 수 있는 가능성이 크다고 인식할 수 있다. 그러나 에너지 원가에 대해서도 사출공정에 16,290kwh 스프레이 공정에 4,800kwh가 투입된 것을 고려하면(부록1 참조) 에너지 원가의 투입 대비 손실(loss)의 비율이 역시 스프레이 공정이 가장 크다는 것을 알 수 있다.

한편 에너지원가의 경우는 MFCA와 LIME 결과

의 명목금액은 상당한 차이가 있으나 상대적으로 차지하는 비중은 유사하게 나타났다. 반면에 재료(물질)원가의 경우는 2가지 방법 간에 상당한 차이가 발생하였다. 이것은 MFCA계산에서는 사용물량에 재료나 에너지의 단가를 곱하고 LIME에서는 단가 대신에 LIME 통합화계수로 치환하여 환경영향값을 산출하는 방식에 기인한다. 즉, 단위당 실제 단가와 단위당 통합화계수가 상이하기 때문이다.

이상에서 재료(물질)원가와 에너지 원가를 합산해서 전체적으로 보면 스프레이 공정이 MFCA와 LIME 모두 loss금액의 비중이 가장 크므로 향후 적극적으로 loss를 삭감하는 개선방안을 강구해야 할 것이다. 한편 조립공정에서는 MFCA에 의한 loss금액이 스프레이 공정 다음으로 개선의 여지가 큰 것으로 나타났으나 LIME에 의하면 사출공정보다도 개선의 우선순위가 낮게 나타났다.

이것이 시사하는 바는 2가지 기법 모두 스프레이 공정이 개선되어야 한다는 결과가 나왔다고 해서 다른 사례에서도 2가지 기법의 결과가 항상 동일하게 나오는 것은 아니라는 점이다.²⁰⁾ 또한 동일한 결과를 얻었다고 해도 조직에 있어서의 경비절감의 포인트와 환경영향의 저감을 동시에 추구할 수 있다는 점에서 상호 보완적인 정보 제공의 유용성이 있다고 볼 수 있다. 즉 지속가능보고서 등에 단순히 환경보전비용만 게시하는 것이 아니라 환경보전효과에 대한 정보를 경제가치도 병행 기재함으로써 이해관계자에게 보다 다양한 환경관련 정보를 제공할 수 있다는 것이다.

20) 물론 MFCA와 LCIA(LIME)의 계산결과가 다르고 개선의 우선순위가 달라지는 경우가 있다. 따라서 각 기법의 활용은 기업의 활용목적에 따라 정해지게 된다. 이때는 기업으로서 장기와 단기로 나누어 전략적으로 어떠한 방법을 선택하는 것이 유리한지를 신중히 검토할 필요가 있다.

4.3.3 추가분석: 총비용(full cost) 대비 Loss금액의 비교

추가 분석으로서 양품과 Loss를 합계한 물량 전체에서 발생한 원가와 loss금액을 비교해 보면 먼저 일반적인 MFCA에서는 3가지 공정 중에서 스프레이 공정의 loss 발생액이 가장 크지만 3가지 공정간의 차이가 크지 않았다. LIME의 결과에서도 스프레이 공정의 loss 발생액이 가장 크게 나타났다. 반면에 각 공정에서 전체적으로 발생한 원가를 대상으로 비교해 보면 사출공정에 들어간 원가가 가장 크다는 것을 알 수 있다.²¹⁾ 환경에 영향을 미치는 외부원가를 화폐액으로 환산해서 나타내는 LIME에서도 사출공정에서 발생한 전체원가가 가장 크며 LIME과 같은 피해산정형 모델에 기초해서 만든 한국형 전과정 영향평가지표(KORID)²²⁾ 방식에서도 역시 사출공정에서 가장 큰 외부원가가 발생하는 것

으로 나타났다(부록 3 참조). 이러한 결과는 불량이나 폐기물과 같은 (-)제품 즉 Loss에 대한 재료(물질)원가와 에너지 원가가 3가지 공정 가운데 스프레이 공정에서 가장 크게 발생한 것과는 상이하다는 것을 알 수 있다.

따라서 기업에서 공정개선이나 원가절감 및 환경영향의 저감을 위한 개선방안을 강구하는 의사결정을 위해서는 MFCA나 LCIA(LIME) 모두 스프레이 공정에 초점을 맞추는 것이 타당하다고 할 수 있다. 그러나 기업이 탄소생산성이나 환경효율 등을 위해 기업 전체의 CO₂ 감축에 초점을 맞추는 경우에는 Loss에 대한 원가 이외에 양품(goods)에 대한 원가까지 합산하여 고려하는 것도 병행해야 할 것이다. 왜냐하면 내부비용과 외부비용을 합산한 총비용평가(FCA: full cost assesment)의 실시²³⁾ 친 환경제품의 특징인 환경영향의 저감량을 파악할 수 있으므로 원가상승의 단점과 사회적 비용 감축의 장

<표 2> MFCA, LCIA, FCA에 의한 (+)제품과 (-)제품의 비교 (단위: 천원)

		사출	스프레이	조립
MFCA	(+)제품	12,941(99.7%)	12,367(98.6%)	17,884(99.6%)
	(-)제품	33(0.3%)	246(1.4%)	78(0.4%)
	소계	12,974(100%)	17,551(100%)	17,962(100%)
LIME	(+)제품	1,047(99.5%)	337(90.5%)	16(94.7%)
	(-)제품	5.6(0.5%)	35.4(9.5%)	0.9(5.3%)
	소계	1,051.6(100%)	372.4(100%)	16.9(100%)
FCA	(+)제품	13,988(99.7%)	12,704(97.8%)	17,900(99.5%)
	(-)제품	38.6(0.3%)	281.4(2.2%)	78.9(0.5%)
	소계	14,026.6(100%)	12,985.4(100%)	17,978.9(100%)

21) 각 공정의 신규투입원가 합계는 사출공정이 12,974원 스프레이는 4,610원 조립공정은 595원 이다.

22) 전과정 영향평가지표는 국가별로 특성을 반영하여 작성되는데 한국과 일본 간의 특성에 따라 결과가 달라지는가를 검토할 필요가 있다. KORID(Korean Life Cycle Impact Assesment Index Based on Damage Oriented Model)는 박필주·김만영(2010)이 개발한 것으로서 피해산정형 모델에 기초한 한국형 전과정 영향평가지표 이다.

23) 총비용평가(FCA)는 수명주기를 통하여 당사자가 부담하는 비용인 내부비용에 시장에 있어서 거래되지 않지만 특정가치가 감도된 것을 나타내는 외부비용을 합산한 것이다. 다만 본고에서는 수명주기 중에서 원재료 생산과 제조과정까지의 단계를 대상으로 하였다.

점 사이의 상충관계에 대해 파악하는 것이 가능하기 때문이다.(UNEP 2001 참조)

V. 결론

본 연구에서는 LCA를 기본으로 한 환경부하 통합 평가 기법인 LCIA(LIME)와 프로세스에 있어서의 물질(원재료와 에너지)의 흐름을 측정해 불량이나 폐기물 등의 물질손실에 대한 경제가치를 파악하는 기법인 MFCA의 비교가능성을 시험적으로 파악했다. 그리고 불량이나 폐기물 등의 물질손실이 가져오는 기업 내부원가와 환경에 미치는 외부원가를 측정함으로써, 환경과 경제의 양립을 목표로 하는 기업경영에 있어서 어떠한 시사점을 얻을 수 있는지를 검토했다.

본고에서는 MFCA와 LCA를 비교 평가하는 방법론으로서 양 기법의 특징을 분석한 결과, MFCA의 LCA 전개 즉 MFCA를 계산하고 있는 제품에 대해 LCA 계산을 실시하는 방식으로 양 기법을 비교하는 것이 유효하다는 것을 인지했다. 그리고 실제 샘플기업의 데이터를 이용하여 MFCA와 LCA를 시험적으로 비교 평가하였다. 그 결과, 실제로 도입한 대상 제품에 대해서, 각 공정 간의 상대적인 중요성이 MFCA에 의한 분석과 LIME에 의한 분석 사이에서 큰 차이는 없었다. 그러나 원가항목별로 분석한 결과에서는 물질원가(재료원가)와 에너지원가에 대해서 양 기법 간에 상이한 결과(명목금액)가 산출되었으나 이것도 상대적인 크기(투입 대비 산출)로 환산하면 모두 스프레이 공정이 개선해야 할 과제라는 것이 판명되었다. 그리고 재료(물질)원가와 에너지원가를 합산해서 전체적으로 보아도 스프레이 공정

이 MFCA와 LIME 모두 loss금액의 비중이 가장 크므로 향후 적극적으로 불량이나 폐기물 등을 삭감하는 개선방안을 강구해야 하는 공정이라는 것을 알 수 있었다.

본 연구의 기대효과로서는 무엇보다 실제 사례분석을 통해 MFCA면에서의 절감 효과(경제면에서의 효과)와 LIME에 의한 LCA면에서의 부하 저감 효과(환경면에서의 효과)를 가시화 할 수가 있었다. 구체적으로는 먼저 MFCA와 LCA에 의한 환경부하 저감 효과를 정확하게 파악한다는 점이다. 이것은 곧 제조원가 절감과 환경부하 저감의 동시 실현을 증명하기 쉽다는 것이다. 또 하나의 효과는 MFCA에 의한 개선안과 다른 생산관리기법에 의한 개선안이 대립하는 경우, MFCA를 원가절감의 수단으로서만 판단하는 것은 환경경영의 관점에서는 바람직하지 않으나 환경측면의 효과도 충분히 고려해서 의사결정을 해야 하는데 그 때 LCA와의 비교 결과를 이용하면 효과가 크다는 것이다. 예를 들면 지속가능보고서에 있어서 환경회계정보를 공시할 때 환경보전비용과 더불어 물량으로 표시되는(CO₂ 감축량 등) 환경보전효과는 물론 LCIA에 의한 화폐액으로 표시된 환경보전의 경제효과를 상호 비교할 수도 있다. 그리고 MFCA에 의한 내부비용과 LCIA에 의한 외부비용을 합산한 총비용평가(FCA: full cost assesment)를 통해 친환경제품 개발 시의 원가상승과 사회적 비용 감축 간의 상충관계를 파악할 수도 있다. 나아가 향후 탄소배출권 거래 등에 대비해 사회적 비용을 줄이는 방안을 마련하는 데도 유용한 정보를 제공할 수 있다.

이상과 같이 MFCA-LCA 비교 모형의 활용가능성은 인식되었으나 비교 평가의 유효성을 높이기 위해서는 다음과 같이 몇 가지 해결해야 할 과제가 있다. 첫째 본고에서는 재료 종류별, 공정별, 원가 항

목별 계산 결과를 나타냈지만 실제의 평가에 있어서는 대상으로 하는 제품·프로세스의 특징을 반영한 분석방법을 고안해야 한다. 이를 위해 각각의 제품의 재료 특성이나 생산 특성, 제조 프로세스의 특징을 계층화 하고, 그 유형별로 평가를 실시하고 결과에 대한 예측이 가능하도록 다양한 사례연구가 축적되어야 한다.

둘째 본고에서의 MFCA 계산은 물질(재료) 원가, 에너지원가, 폐기물처리 원가만을 대상으로 하고 있으며 시스템 원가는 환경영향에 직접 영향을 미치지 않으므로 포함시키고 있지 않다. 따라서 비교 평가에 있어서는 한정된 범위 내에서 유효하다는 점을 감안해서 해석에 신중을 기하면서 활용방법과 구조를 명확히 해야 한다.

셋째 우리나라에서는 LCA 그 자체의 데이터베이스가 충분하다고는 할 수 없으므로 적합한 데이터를 얻는 점에서 문제가 있다. 본고에서도 일부항목은 목록 데이터가 풍부한 Ecoinvent를 활용했다. 경우에 따라서는 산업연관표를 사용하는 일도 검토해야 한다. 무엇보다 이러한 작업을 공정별로 실시하는 것은 용이하지 않으므로 MFCA-LCA 비교 평가를 위한 LCIA 데이터(LIME이나 KORID 통합화 계수)의 표준화가 바람직하다.

넷째 기업경영 속에서 활용하는 경우에는 LIME이나 KORID와 같이 LCA를 MFCA와 같은 화폐단위로 나타내는 방법을 채택할 때, 단순히 동일 차원에서 가치(경제면의 가치와 환경면의 가치)를 비교할 것이 아니라 그 계산근거의 이질성을 충분히 고려할 필요가 있다. 본 연구는 현 시점에서 환경부하의 저감과 경제효과의 추구라는 2가지를 양립시키기 위한 출발점을 제시하는 것이라고 평가할 수 있다.

참고문헌

- 김만균, "LCA를 이용한 자동차 Door Trim 원가 분석" **대 한설비관리학회지**, Vol.13, No.3, 2008, 115-125.
- 김정남, "물질흐름원가회계의 개념과 적용: 제조공정의 폐기물 저감 사례를 중심으로" **전과정평가** 제7권1호, 2006, 7-18.
- 김종대·조문기·안형태·김연복, 2012. 공급사슬 상의 MFCA(물질흐름원가회계) 기법의 확대 적용 사례, **회계저널**, 21(2) 403-438.
- 김종대·조문기·김영기, "물질흐름을 이용한 원가관리: PCI Augsburg CmbH 사례, **환경경영연구**, 5(1), 2007, pp.65-91.
- 육근호, "물질흐름원가회계(MFCA)의 이론적 분석과 연구 과제, **상업교육연구**, 23(1), 2009, pp.73-94.
- 박필주·김만영, "한국형 피해산정형 전과정 영향평가 지표 개발" **대한환경공학회지**, 2010, Vol.32, No.5, 499-508.
- 산업자원부, 「MFCA를 통한 폐기물 감축 및 원가절감시스템 구축확산 사업(최종보고서)」, 2007.
- 정길채, "물질흐름회계 적용사례와 확대 적용을 위한 제언," **환경정책(환경행정)**, Vol.16, No.1, 2008, pp. 115-134.
- 정재연·신승묘·연병모, "물질흐름원가회계(Material Flow Cost Accounting)의 개념과 성과," **환경경영연구**, 2(1), 2004, pp.39-58.
- 伊藤嘉博:マテリアルフローコスト會計の深化と擴張の方向性—日本ユニシスサプライのケースを中心とした考察—, **環境管理**, 46(11), 2010. 40-46.
- 伊坪徳宏・稲葉敦, LIME2-意思決定を支援する環境影響評価手法, 産業環境管理協會, 2010.
- 伊坪徳宏・稲葉敦, ライフサイクル環境影響評価手法: LIME-LCA, 環境會計, 環境効率のための評価手法・データベース, 産業環境管理協會, 2005.

- 國部克彦・洲上智子・山田明壽, MFCAとCFPの統合モデルの開発, **環境管理**, 48(2), 2012. 66-76.
- 國部克彦・下垣彰, MFCAのサプライチェーン展開, **環境管理**, 43(11), 2007. 37-43.
- 柴田英樹・梨岡英里子, 「進化する管理會計」, 中央經濟社 2006.
- 下垣彰, サプライチェーン通したMFCAの適用, 流通ネットワークワーキング, 第233券, 66-70.
- 日本能率協會コンサルティング: JMA Consultants, 經濟産業省委託「マテリアルフローコスト會計開發普及調査事業報告書」, 2009.
- 東田明, マテリアルフローコスト會計のサプライチェーンへの擴張, **企業會計**, 59(11), 2007. 33- 39.
- 古川芳邦, マテリアルフローコスト會計—その手段的特徴とカーボン・マネジメントへの応用展開—, **カーボン債務の理論と實際**, (藤井良廣編), 中央經濟社, 2009. 121-147
- 平成18年度經濟産業省委託マテリアルフローコスト會計開發・普及調査事業報告書(2007), http://www.jmac.co.jp/mfca/document/02_16.php 2007.
- Federal Environment Ministry/ Federal Environmental Agency, *The Guide to Corporate Environmental Cost. Management*, Bonn/Berlin. 2003.
- Hinterberger, Friedrich, Stenfan Giljum and Mark Hammer, *Material Flow Accounting and Analysis: A Valuable Tool for Analyses of Society-Nature Interrelationships*, *Sustainable Europe Research Institute(SERI)*, 2003.
- IFAC, *Environmental Management Accounting*, International Federation of Accountants. 2005.
- Jasch, C. *Environmental and Material Flow Cost Accounting: Principles and Procedures (Eco-Efficiency in Industry and Science)*, Springer. 2008.
- Nakajima, M. "Evolution of material flow cost accounting (MFCA): characteristics on development of MFCA companies and significance of relevance of MFCA," *Kansai University Review of Business and Commerce*, No.11, 2009. pp.27-46.
- Strobel, M. and C. Redmann, *Flow Cost Accounting*, Institute für Management und Umwelt, 2001.
- United Nations Division for Sustainable Development (UNSD), *Environmental Management Accounting: Procedures and Principles*, United Nations, 2001.
- UNEP 2001. *Global Environment Outlook 2000*.
- USEPA. "An introduction to environmental accounting as a business management tool: Key concepts and terms," EPA742-R-95-001, June. 1995.
- Wanger, B. and Enzler, S., *Material Flow Management: Improving Cost Efficiency and Environmental Performance*, Physica-Verlag. 2006.

〈부록 1〉 물질수지표와 LCI 데이터베이스

사출 공정							LCI Database			
투입/배출	세부공정	항목	세부항목	단위	물량	비고	물질명	연도	기관	
투입	원자재 투입	원자재	ABS	kg	804.5	33포대	ABS powder	2002	지식경제부	
			포장재	포대	33		황산염미표백펄프	2003	환경부	
	사출	전력	ABS	kg	82.5					
			열풍	kwh	600	습기제거	전기	2000	지식경제부	
			사출1호기	kwh	6,200		전기	2000	지식경제부	
			사출2호기	kwh	5,200		전기	2000	지식경제부	
	공정검사	전력	냉각기	kwh	600		전기	2000	지식경제부	
			분쇄1호기	kwh	30		전기	2000	지식경제부	
	파쇄기	전력	분쇄2호기	kwh	60		전기	2000	지식경제부	
			상자	골판지상자	BOX	79	100%재사용	골판지원지(폐지재활용) : 아황산미표백펄프=1:1의 비율 고려	2003	환경부
배출	원자재 투입	포장재	포장재	포대	33					
	사출	스크랩	ABS	kg	61.88					
	공정검사	스크랩	ABS	kg	20.63					
	가포장	상자	골판지상자	BOX	79					
	가포장	사출품	ABS	kg	804.5					
Spray 공정							LCI Database			
투입/배출	세부공정	항목	세부항목	단위	물량	비고	물질명	연도	기관	
투입	외관 Spray	사출품	ABS	kg	804.5		ABS powder	2002	지식경제부	
			건조	투입 건조로	kwh	400	먼지제거	전기	2000	지식경제부
		Spray	Spray부스	kwh	800	제품이동	전기	2000	지식경제부	
			페인트	kg	50		페인트 sheet 참고			
			신나	kg	75		신나류[thinner type]	2003	환경부	
			전력(Spray 건조로)	kwh	2,800	열풍이용	전기	2000	지식경제부	
			전력(Compressor)	kwh	800		전기	2000	지식경제부	
		세척	신나	kg	1	1회 세척시 1Kg 사용				
		배출	Loss	페인트	kg	3	바닥으로 배출			
				신나	kg	2	대기중 포집			
페인트	kg			36.5						
신나	kg			73						
세척폐액	신나		kg	1						
Spray품	ABS	kg	815							
조립공정							LCI Database			
투입/배출	세부공정	항목	세부항목	단위	물량	비고	물질명	연도	기관	
투입	조립	Ass'y	Spray품	ABS	kg	815		ABS powder	2002	지식경제부
			전력(Ass'y 건조로)	kwh	240		전기	2000	지식경제부	
			전력(컨베이어 벨트)	kwh	2.08	추정치	전기	2000	지식경제부	
	포장	포장재	골판지상자	BOX	60	1BOX 250개	골판지원지(폐지재활용) : 아황산미표백펄프=1:1의 비율 고려	2003	환경부	
배출	조립	공정검사 제품	ABS	kg	5	폐기				
		포장	포장재	골판지상자	BOX	60	54g/개 1BOX 250개			

〈부록 2〉 LIME을 이용해서 화폐액으로 환산한 전과정 환경영향의 평가 결과

	환경평가 결과			경제환산 계수	단위	원화로 환산한 경제가치		
	사출	스프레이	조립			사출	스프레이	조립
인간건강	1.02E-03	3.83E-04	1.53E-05	1.47E+07	DALY	201,824	75,966	3,028
사회자산	8.39E+03	3.49E+03	1.26E+02	1.00E+00	Yen	113,278	47,100	1,700
1차생산	2.63E+01	8.97E+00	3.95E-01	4.62E+02	kg	164,282	55,970	2,464
생물다양성	3.28E-11	1.14E-11	4.92E-13	1.42E+13	종	6,292	2,193	94
합계	8.42E+03	3.50E+03	1.26E+02			485,676	181,229	7,286

주) 원편의 환경영향평가는 MiLCA 소프트웨어를 사용해서 계산했으며 경제환산계수는 LIME2에 나와 있는 계수를 인용하였다.
원화환산은 13.5원/Yen 으로 하였다.

〈부록 3〉 KORID를 이용해서 화폐액으로 환산한 전과정 환경영향의 평가 결과

	환경평가 결과			경제환산 계수	단위	원화로 환산한 경제가치		
	사출	스프레이	조립			사출	스프레이	조립
인간건강	1.02E-03	3.83E-04	1.53E-05	2.82E+07	DALY	28,679	10,795	430
사회자산	8.39E+03	3.49E+03	1.26E+02	1.00E+01	KRW	83,900	34,900	1,260
1차생산	2.63E+01	8.97E+00	3.95E-01	4.93E+04	kg	129,660	44,222	1,947
생물다양성	3.28E-11	1.14E-11	4.92E-13	5.69E+05	종	1.8E-05	6.5E-06	2.8E-07
합계	8.42E+03	3.50E+03	1.26E+02			242,239	89,917	3,637

Pilot Test for Compatibility of MFCA(Material Flow Cost Accounting) and LCA(Life-Cycle Assesment)

Keunhyo Yook*

Abstract

Material Flow Cost Accounting(MFCA) is a method to evaluate the costs of two kinds of products, that is to say, positive products(good products) and negative products(emission, waste). Seen from the ecological perspective, MFCA systematically focuses cost cutting on attempts to reduce the quantities of materials and energy used, thus leading to positive ecological effects and to environmental benefits. MFCA is thus an important instrument in implementing an integrated environmental management system and in raising ecological efficiency.

LCA(Life Cycle Assesment) is a structured, internationally standardized method and management tool for quantifying the emissions, resources consumed and environmental and health impacts that are associated with goods and services (products). An LCA study consists of four steps: (1) Defining the goal and scope of the study. (2) Making a model of the product life cycle with all the environmental inputs and outputs. This data collection effort is usually referred to as the life cycle inventory (LCI) stage. (3) Understanding the environmental relevance of all the inputs and outputs. This is referred to as the life cycle impact assesment (LCIA) phase. (4) The interpretation of the study.

In this paper, we adopt the Japanese LCIA method LIME(life cycle impact assesment method based on endpoint modeling) that aims to develop a database and LCIA methodology that facilitates the application of LCA by industry. In LIME, all damages are expressed in the same monetary unit and societal costs (in Dollar) are used to combine the four safeguard subjects.

However, in LIME, important cost factors like investment, R&D costs, overheads and marketing are usually not modelled or at least under-represented in the model. Also, the objective

* Busan University of Foreign Studies

of reducing environmental impact in environmental management of MFCA from the viewpoint of enhancing resource productivity, has not yet been resolved.

As decision-making has moved towards integrated thinking and assesment, the increasing complexity and interdisciplinary nature of LCA and MFCA problems has necessitated a new generation of integrated modeling framework. Thus we develop an Integrated Modeling Framework that allows us to predict and compare the state of economic efficiency(environmental management) and environmental load (environmental engineering). Using this Framework, this study empirically analyzed the data based on the sample company and compare a baseline assesment of two environment evaluation system between MFCA and LCA(LIME).

The result of the study are as follows: First, there are not significant relative difference among the three process(injection, spray, assembly) of the two method, MFCA and LCA(LIME). Second, the most harmful process which comprise largest proportion of those loss(spoilage, emission, waste) was their spray process, followed by injection process, assembly process in both method. Third, the results of impact analysis for material cost and energy cost also show the same effects. Finally, the results of this study will provide valuable insights on MFCA-LCA integrated system to the companies implementing LCA and MFCA separately.

Key words: MFCA(Material Flow Cost Accounting), LCA(Life Cycle Assesment), FCA(full cost assesment), material cost, environmental management, material balance