

반도체를 대상으로 한 LCA(Life Cycle Assessment)의 방법론 및 적용에 관한 연구

정찬교, 구희준
수원대학교 환경공학과

A Study on Methodology and Application of Life Cycle Assessment - Concerning Semiconductor

Chan Kyo Chung, Hee Jun Koo
Dept. of Environ. The Univ. of Suwon

요 약

본 연구는 국제적 환경인식의 변화로 이제는 사후처리단계로서 환경문제를 다루는 것이 아니라 사전에 오염을 방지하고 오염의 배출을 최대한 억제하고 자원과 에너지를 최대한 효율적으로 이용하며 오염물질을 완전히 배출하지 않도록 하는 환경관리 수단이 요구됨에 따라 사용범위를 예측하기 힘들 정도로 확대되어 가는 LCA의 필요성과 국제적 논의동향을 살펴보고 대응방안을 제시하였다. 그리고 전자혁명 시대인 현대사회의 핵심인 반도체의 국가경쟁력을 높이고 환경을 새로운 수익창출의 기회로 삼는 계기를 마련하기위해 우리나라의 현실에 적용하기 쉬운 Screening LCA를 통해 반도체의 LCA를 수행함으로써 자원소비 측면에서는 Chip kg당 요구되는 투입물과 에너지의 요구량을 정량화하였고 환경영향 측면에서는 배출물의 영향을 정량화 함으로써 반도체 제품을 생산하는데 어느정도의 비용과 에너지와 물질이 투입되며 그것이 환경에 미치는 영향을 표시할 수 있으며 그로인해 문제공정을 도출하여 공정개선의 기회를 마련할 수 있다.

Abstract : Environmental regulation has traditionally focused on specific phenomena and adopted the so-called end-of-pipe approach. Recently, however, the new environmental paradigm is more concerned with minimization of waste generation, efficient material and energy use, pollution prevention, etc. The basis of above concept is that one must consider the environmental impacts of a product not only during its manufacturing stage, but during all life stages. In the present study, the current status of LCA and its importance to environmental impacts have been reviewed. In the usual approach to LCA, screening LCA method has been used to promote international competition and define environmental concerns during semiconductor manufacturing. In the present study, a review of semiconductor manufacturing process and its environmental implication has been conducted to quantify the material and energy requirements, minimize the waste generation, and evaluate production cost. Recommended activities are also specified for process modification to improve the process efficiency.

1. 서론

1.1 국제적 환경인식의 변화

'92년 6월 리우회의 이후 환경을 국제적인 문제가 아닌 전지구적인 문제로 인식하게 되면서 산업과 무역에 대한 국제환경규제가 오염배출 감소, 생산공정 및 방법 규제, 제품의 환경적합성 및 회수처리 그리고 기업의 경영체제까지 세분화, 다기화 되고 있다. UN, OECD, ISO등 국제기구를 중심으로 한 선진국의 규제가 강화되고 있고 지구환경문제에 대한 개도국들의 동참을 강요하여 규제의 대상이 최종 생산제품뿐만 아니라 원료취득에서부터 생산공정, 유통, 소비, 폐기, 회수에 이르는 기업활동전체로 확대가 됨으로써 앞으로는 환경을 고려하지 않는 상품의 생산, 판매, 수출은 국제적으로 제한받게 되었다. 국내적으로도 환경규제기준이 높아지고 규제방법도 종래의 농도규제에서 공해물질배출량을 동시에 규제하는 총량규제방식으로 전환되는 등 규제가 강화되고 국민의 삶의 질 향상에 대한 요구증대와 환경감시 강화로 규제 회피적인 산업활동은 한계에 다다랐다. 그래서 지금의 경상수지 적자나 경제위기라고 일컬어지는 현상들은 모방과 양적성장 Paradigm의 위기이며 산물인 것이다. 날로 강화되고 있는 환경규제에 능동적으로 대처하고 우리산업의 지속적 발전을 도모하며 이런 위기를 극복하기 위해서는 질적 성장과 기술중심으로 변환을 고려한 새로운 산업발전전략이 필요하다.

그리고 GATT의 주도하에 UR이 현실화되면서 경제화, 세계화의 무한경쟁이 이루어지고 있고 UNCED이후 국제환경협약과 이에 따른 각종 환경규제가 진행되고 있다. 이러한 가운데 WTO가 GATT를 대체하여 새로운 경제질서를 이끌어가게 되면서 환경규제는 현행의 오염물질 규제에서 원료의 획득에서 최종처분까지의 모든 공정 및 행위를 비롯한 경영 및 관리가 규제의 대상으로 되게 될 것으로 보인다. 기업활동에 환경기준을 반영시키는 국제표준을 제정하려는 움직임은 ISO가 지난 '91년 국제상공회의소의 건의를 받아들여 SAGE를 설치함으로써 시작됐다. '91년 7월부터 환경경영에 관한 표준화작업이 국제표준화기구의 SAGE에서 검토되어 왔다. 2년간의 검토결과 환경경영, 환경감사, LCA등 7개 항목에 대한 국제표준화의 필요성이 작성 건의되었다.

또한 '93년 1월에는 TC 207을 설치하고 '93년 6월에는 국제표준화제도를 제정해 구체적인 실천방안을 모색하고 있다. 현재는 많은 진척을 보여 ISO/DIS 14001에 대한 표준규격이 발표되어 많은 기업체에서 EMS를 취득하려고 노력하고 있으며 LCA에 대한 ISO/DIS 14040 (일반원칙 및 절차에 관한 표준)도 곧 발표될 예정이다.

1.2 LCA의 정의와 역할

LCA는 여러 가지 이름으로 불리워지고 있는데 Cradle-to-grave analysis, PLCA, REPA, Ecobalance, ISCM, MLCA등 각국마다 또 부르는 사람과 용도에 따라 다르게 불리고 있으나 일반적으로 LCA가 통용되고 있다. ISO/TC 207/SC5에서는 "LCA란 원자재 수요부터 생산과 폐기에 이르기까지의 제품의 전과정 즉 요람에서 무덤까지의 환경적 영향을 고려하는 것이며 고려해야 할 환경적 영향의 일반적 범주는 자원고갈, 인류복지, 생태계 연관성 등을 포함한다"고 정의하였고 SETAC에서는 "LCA는 제품, 공정활동 등과 관련된 환경부담을 사용된 에너지, 자원, 환경에 배출된 폐기물을 규명하고 정량화함으로써 분석하고 이러한 에너지, 자원의 사용, 환경배출의 영향을 평가하여 환경개선을 위한 기회를 확인하고 평가하는 과정을 말하며 이 평가에는 원료의 채취·제조를 포함한 제품, 공정, 활동과 제조, 수송, 유통, 사용, 재사용, 유지, 재활용, 최종 폐기에 이르는 전과정을 포함한다"고 정의했다. 최근들어 LCA연구가 활발히 수행되면서 LCA의 개념은 그 대상범위를 확대하여 제품 뿐만 아니라 재료, 공정 및 각종 경제·산업·서비스활동, 정책결정들이 에너지·자원소비 및 환경에 미치는 각종 부하를 전과정에 걸쳐 가능한한 정량적으로 분석·평가하여 현재 인류가 직면하고 있는 자원의 고갈 및 생태계 파괴현상, 지구환경문제 등을 근본적으로 해결하기 위한 각종 개선방안을 모색하는 기술적·체계적 과정이라고 정의되고 있다. LCA는 개념적으로는 환경부하 혹은 배출에 관한 질적, 양적 자료목록을 작성, 평가하여 환경성적을 개선시키기 위한 대안을 검토하는 과정이라고 정의할 수 있어 환경영향평가(EIA), 위해성평가(Risk assessment)등과 같이 환경관리기법 중의 하나로 정립되어가고 있고 ISO 14000 Series의 기술적 근간을 이루고 있어 다른 기법에 비해 국제적으로 보다 중요시되는 기법이라 할 수 있다. LCA의 궁극

적인 목적은 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 실현하기 위하여 제품, 재료 등의 전과정을 통한 자원, 에너지소비 및 환경오염부하를 최소화시키고 개선방안을 모색하는데 있다. 따라서 오늘날 각종 환경문제에 직면하고 있는 기업체 및 행정기관, 소비자들은 각자의 입장에서 효과적인 환경보존방안을 모색하고자 하는 목적을 달성하기 위해 전략적, 정책적 의사결정장치로서 LCA를 활용하고 있다. 그리고 LCA가 이제는 좀더 세분화가 되어서 제품만의 영향을 정량화하는 PLCA(Product LCA)에서 통합 폐기물관리(Integrated waste management)를 통하여 폐기물 단계만을 대상으로 하여 LCA를 수행하거나 어떤 원료를 선택할 것인가?, 사용할 때에 분해가 용이한가 아니면 재활용이 가능한가? 등의 설계나 제품구상에서 부터 환경을 생각하기 위한 도구로 즉, DFE(Design for environment)를 위해 LCA를 도입하는 등 LCA의 사용이 광범위화, 세분화, 전문화가 되어가고 있다. 또 LCA는 청정기술의 전단계로 오염을 방지하고 자원과 에너지를 효율적으로 이용하기 위하여 환경영향을 정량화하여 문제공정을 파악하여 개선의 기회를 마련하는 최적의 도구로 사용될 수 있는데 이런 LCA가 적용성이 높은 이유는 지역적인 문제는 물론 전 지구적인 차원에서 환경영향을 파악할 수 있기 때문이다.

1.3 우리나라 현황과 국제적 논의동향

우리나라에서는 아직 공식적으로 LCA에 대한 연구가 수행된 적이 없다. 1993년 경제정의실천연합 환경개발센터에서 “유리병 재활용활성화 방안에 관한 연구”를 수행하면서 미국, 네덜란드, 스웨덴, 일본의 포장용기에 대한 LCA연구결과를 소개한 것이 최초이고 국제환경경영표준화와 관련하여 공업진흥청에서는 ISO 회의에 참여시 수집한 LCA관련자료를 정리한 자료집을 발간한 바 있다. 그리고 1994년에 들어와서 ISO와 관련해서 기업체를 중심으로 개최된 “환경경영세미나”등에서 LCA가 소개되고 있고 환경부에서는 쓰레기관리 및 재활용정책의 일환으로 “제품의 LCA에 관한 기법개발연구”를 시작하고 있고 에너지 관리 공단에서는 이미 에너지 관련 분야의 “LCI 데이터베이스의 개발”이라는 연구를 시작하였다. 중소기업청에서는 '94년과 '95년에 걸쳐 포장재에 대한 LCA 연구와 각 산업계의 LCA 적용에 관한

연구를 주관하였고 통상산업부에서는 “환경 친화적인 산업구조로의 전환 촉진에 관한 법률”의 시행을 통하여 기업들이 환경경영을 설립하고 유지하도록 돕고 있다. 산업계에서는 삼성, 대우, LG, 현대, 포철등에서 공정개선을 위해 LCA를 수행중이거나 계획중인데 중소기업은 예산과 인력의 한계로 참여를 하지 못하고 있다. 그리고 '95년에 인증원으로 설립된 “한국품질환경인증협회”는 자체내에 LCA센터를 설립하여 ISO에서의 LCA 역할에 대한 소개와 홍보를 목표로 하고 있으며 “한국 전과정평가 협의회”가 산업계와 학계의 전문가들을 중심으로 발족하려 하고 있다.

LCA는 여러 가지 상호 관련된 요소들의 집합체로 환경관리기법 중의 하나인데 방법론은 아직 국제적으로 협의중이지만 문서화의 단계에 접어들면서 조금씩 체계가 잡혀가고 있는 중이다. LCA의 구성 및 방법론에 대해서는 각국마다 용어 및 방법론에 약간의 차이가 있다. ISO/TC 207/SC5에서는 LCA의 표준화를 위해 초창기에는 크게 4부문으로 나누어 표준화 작업을 진행했었다. 그것은 Goal and scope definition, Inventory analysis, Impact assessment 그리고 Improvement assessment로 나뉘어졌었는데 지금 표준화가 진행되고 있는 상태를 살펴보면 개선평가 대신에 Interpretation이라는 부문이 도입되면서 각각의 단계에 연계가 되어 각 단계별로 나온 결과를 해석하고 그 결과에 따라 각 단계를 feedback한다는 점이 달라졌다.

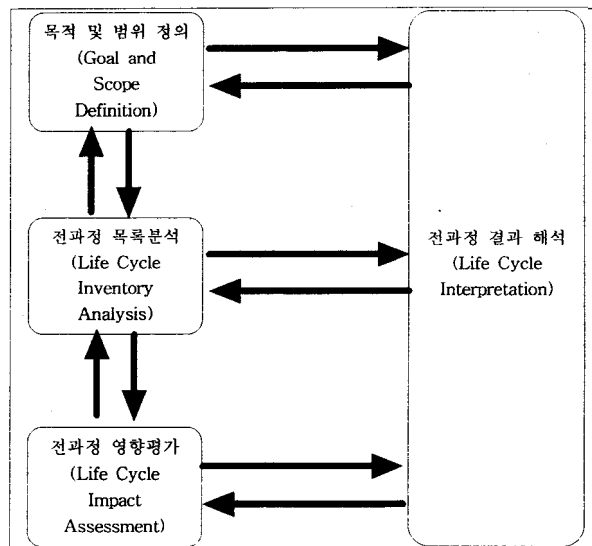


Fig. 1. LCA의 구성성분

2. Screening LCA의 적용

Screening LCA란 수행과정이 일반적인 LCA(Detailed LCA)와 같은 구성성분 즉 목적 및 범위설정, 목록분석, 영향평가, 결과해석으로 구성은 같지만 자료 수집과정에서 많은 시간과 비용을 소모하는 대신에 손쉽게 얻을 수 있는 자료를 사용한다는 점과 환경적으로 가장 부하가 많은 공정을 중심으로 하기 때문에 가장 주요한 Issue를 규명한다는 사실이 다르다. 이 단계를 수행한 후에 전체적인 환경이슈들을 파악하고자 하면 거기에 따른 Focused LCA 단계를 수행하면 되기 때문에 이 Screening LCA는 상당히 실용적이고 유용한 방법으로 여겨진다. Focused LCA란 Screening LCA를 통해 도출된 주요영향에 대한 자료들에 대해 출처의 검증과 세부사항 등을 정밀하게 조사하고 새로 추가되는 자료를 더 수집하여 보완을 하고 주요영향 이외의 자료들은 Screening LCA를 수행시 수집된 것들을 그대로 이용하여 전체적으로 다시 한 번 LCA를 수행하는 것을 말한다. 이렇게하여 최종적으로 주요한 영향을 확정하고 이 확정된 환경부하는 해당제품의 전과정중에서 환경에 미치는 영향이 큰 공정이 되는 것이다. 최근에 기업들은 그들의 자체 공정에 대한 환경적 측면의 규명이나 대체 재료 또는 공정에 대한 평가를 손쉽게 하기 위해서 Screening LCA의 개념을 많이 사용하고 있다. 왜냐하면 지금 우리나라의 현실이나 축적된 Database가 상당히 부족하기 때문에 처음부터 자세하게 LCA를 수행하고자 하면 자료수집시 많은 어려움에 직면하게 되므로 적용시키기가 상당히 어렵다는 점을 감안한다면 지금 시작하는 입장에서는 Screening LCA로 하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 Screening LCA를 1차적인 것으로 해석해야지 최종적인 것으로 해석해서는 안된다.

Screening LCA의 또 다른 주요 용도로는 EMS의 구성요소중의 하나인 Planing단계에서의 주요 환경측면을 규명하고 주요 환경측면이 미치는 환경영향에 대한 평가시에 사용될 수가 있다는 점이다. EMS의 기본취지가 전과정에 걸친 환경부하를 저감시킴으로써 지속적인 환경개선을 달성하기 위한 것인데 기업의 제품 종류가 다양하고 부품, 원료의 종류가 다양할 경우에는 제품, 부품, 원료 하나하나에 대하여 환경성 평가를 한다면 매우 방대한 작업이 되어버린다. 그래서 ISO 14001의 A.3.1.에서는 제품이나 부품 하나하나의 환경성을 꼭 파

악할 필요는 없다고 하였다(ISO 14001, 1996). 대신 환경영향이 클 것으로 판단되고 대표성을 갖는 제품군 등을 선정하여 환경성 평가를 할 것을 권고하고 또 ISO 14004에는 기업이 EMS를 구축할 경우 Life Cycle Thinking을 고려 하라고 되어있다. 즉 기업이 EMS의 계획을 수립할 경우 자세한 LCA보다는 LCA Thinking을 고려한 Screening LCA를 수행할 것을 명시하고 있는 것이라 볼 수 있는 것이다.

3. 반도체의 LCA 적용

3.1 반도체 개론 및 현황

대표적인 반도체 물질로는 실리콘 물질인 실리콘(규소, Si), 게르마늄(Ge), 셀렌(Se)이 있고 금속산화물로 산화아연, 산화납, 산화구리 그리고 금속화합물인 비소화갈륨(GaAs), 인화갈륨, 안티몬화인등들이 있고 이밖에 황화물인 황화카드늄과 텔루르화물인 텔루르화카드늄 그리고 유기화합물인 안트라센 등이 있다.

반도체는 독특한 성질을 가지고 있는데 그것은 첫째 '전기전도성이 온도의 상승에 따라 늘어난다'는 점이다. 즉 가열하면 저항이 점점 작아지고 반대로 냉각하면 저항이 커진다. 예를 들면 극저온에서 반도체와 거의 같은 정도로 무한대의 저항률을 나타내지만 온도가 올라가면 저항률이 급격히 낮아지는데 이런 성질은 금속이 온도가 올라가면 저항률이 증가하는 성질과는 반대되는 반도체만의 중요한 특성이다. 둘째로 반도체는 불순물이 섞이는 양에 따라 저항이 달라진다. 빛을 받으면 저항이 작아지거나 전기를 발생시키는 '광전효과'를 나타내기도 한다. 셋째로 반도체는 교류전기를 직류전기로 바꾸는 '정류작용'을 하기도 하는데 이러한 성질은 전기전도성에 관한 성질보다 더 중요하게 반도체의 응용분야에서 주로 활용된다.

반도체 제품은 하나의 제품이 하나의 기능만을 갖는 개별 소자(Discrete)와 IC(Integrated circuit)로 나누어 볼 수 있다. 개별 소자에는 대표적인 것으로 주로 정류기로 쓰이는 Diode, 증폭작용을 하는 트랜지스터가 있다. 그리고 연산작용을 수행하는 마이크로 프로세서, 메모리 IC, 주문형 반도체 등은 IC에 속한다.

우리나라는 수출의 상당 부분을 반도체가 차지하고

있어 상당히 중요시되는 품목인데 반도체 업계에서도 적신표준이 고개를 들고 있다. 그것은 반도체 경기가 식는다는 것과 대만이 추격해온다는 우려다. 지금의 반도체 현황을 보면 좀 더 확연히 드러나게 된다. 공급과잉으로 인한 95년 말부터 96년 1/4분기의 반도체 BB율(출하액 대비 수주액 비율)이 최악으로 떨어져 경기전망을 어둡게 하며 계속하락하고 있는 추세이고 대만의 대기업들이 미국과 일본 등과 손잡고 64MDRAM 생산 공장 건설에 들어간 상황이어서 대만이 외국 기술로 반도체 생산을 본격화 한다면 기술면에서 일본이나 미국을 앞서지 못하는 국내의 반도체 업계로서는 상당히 곤란하게 될 것이다.

그러면 이 같은 반도체 부문의 하강과 대만의 급부상이라는 위기를 돌파할 방법은 기술 경쟁력을 기르는 길 밖에 없다. 지금 국제적인 흐름을 보면 선진국들이 자신들의 무역경쟁력을 높이기 위해 개도국들에게는 환경을 강조함으로써 자신들의 국가 경쟁력을 높이려고 하고 있다. 이런 추세에 당당히 맞설 수 있으려면 우선은 국제적으로 인정될 수 있는 ISO인증을 획득하는 것일 것이다. 이 인증을 취득하게 되면 그린라운드 및 관세비관세 무역장벽 등에 능동적으로 대처할 수 있음은 물론 실질적인 환경보전형 경영활동을 구축하게 됨으로써 환경친화적 제품여부가 구매의 중요한 요건으로 자리잡은 EU 지역을 비롯한 선진국 수출에 유리한 요소로서 작용할 것이기 때문이다. 그리고 친환경적인 경영을 위해서는 제품개발, 생산, 서비스, 폐기까지의 전단계에 대한 환경영향을 줄여야 하는데 그러기 위해서는 어느 공정에 부하가 많이 걸리는지를 신속히 파악하여 문제가 되는 공정을 신속하게 대체하거나 개발하여야 한다. 그렇기 때문에 공정개선의 기회를 마련하고 최적의 공정을 발견하여 자원이나 에너지를 효율적으로 사용할 수 있고 환경부하를 줄이는 공정을 적용시키기 위해서는 선결문제로 LCA기법을 적용시켜야 하는 것이다.

3.2 목적정의 및 범위설정

1) 목적정의

이번 연구의 목적은 반도체를 제조하는데에는 유해한 화학약품이 상당히 많은 양이 사용되고 또 아주 미세한 공정들이 계속 Loop되면서 가시적으로 해결하기 어려운 환경영향이 발생할 것으로 예상이 되는데 아직까지 정

량화된 보고서가 없기 때문에 반도체를 생산시 어느 정도의 환경영향이 발생하고 지금 행하는 공정이 최적화된 공정인지를 알기에 어렵다. 그러므로 실질적으로 생산공정에서는 어느 공정이 가장 유해하고 주의를 기울여야 하는지를 밝히고 또 우리나라에서는 반도체의 수출이 상당히 많은 양을 차지하고 있는 수출전략제품인데 국제경쟁력을 갖추기 위해서는 가격경쟁력에서 이길 수 있도록 높은 수율을 유지해야 한다. 이와 같은 수율을 현재 어느정도 유지하고 있는지를 알기 위해 경제적인 측면도 원단위로 살펴보았다. 즉 각각의 칩으로 만들어 지기까지 원료가 어느정도 투입되고 배출되는 항목들은 무엇인지를 정량화 하려고 하였다. 그래서 Chip 1kg 제조시의 환경부하를 정량화 하였고 제조시의 문제 공정들의 공정개선의 기회를 마련하는 것을 목적으로 하였다. 그러나 본 연구는 학문적인 연구만을 배경으로 하였고 제한이 있기 때문에 여기에서 기술한 자료가 학술적인 교육이나 홍보목적 이외에 실제 적용에는 효용가치가 없을 수도 있고 지역적인 한계를 가지고 적용을 하였기 때문에 다른 지역에는 적용이 잘 맞지 않을 수도 있다.

2) 범위의 설정

평가의 대상으로는 자원의 채취, 원료의 제조, 제품의 제조, 제품의 수송, 사용, 재활용, 폐기까지의 모든 과정이 포함되어야 함이 원칙이나 반도체의 각 단계과정 중에서도 반도체의 생산과정이 수율을 결정하는데 중요하며 환경부하가 가장 큰 단계이기 때문에 본연구에서는 반도체의 생산과정을 중점으로 시스템과 경계를 설정했다. 각각의 기능단위는 에너지는 kWh/일, 약품이나 가스량등은 kg/일, 그외 제품이나 환산이 어려운 것은 EA/일 등을 기본으로 정량화했고 평가나 비교를 위해서는 연간이나 월평균을 이용해서 자료를 산출했으며 그밖의 자료는 그때그때마다 별도로 표시를 했다.

반도체제품이 제조되는 공정은 크게 3가지 부분으로 나눌수가 있다. 첫째는 공급자로 부터 Wafer가 제조되는 단계이고 두 번째는 실제적으로 원하는 목적대로의 반도체를 만들기 위해 Wafer를 가공하는 반도체 생산공정, 그리고 마지막으로 반도체 조립공정인데 여기에서 여러 가지 제한요인들(자료의 한계, 해석의 어려움 등)로 인해 실제 수행된 범위의 경계를 그림으로 나타내면 Fig. 2.와 같다.

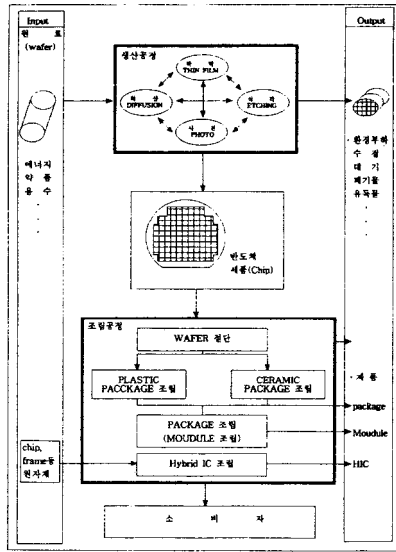


Fig. 2. 반도체 LCA수행 System Boundary

Wafer(단결정 Si)제조단계는 모래에서 추출한 규소로 실리콘결정체를 만들어 불순물을 주입함으로써 n이나 p-type의 실리콘덩어리인 Ingot을 연마, 가공, 정제하여 규격에 맞게(4,6,8인치 등) 단결정 실리콘을 성장시킴으로써 Wafer의 제조과정은 끝나게 된다. 우리나라에서는 실리콘이 없으므로 전량 수입에 의존하는데 국내에서 수행되는 공정은 이렇게 수입한 Ingot을 단결정 실리콘으로 성장시켜 Wafer로 자르는 것이다.

그 다음에는 반도체 생산공정으로 전공정에서 제조된 Wafer가 확산, 박막, 사진, 식각공정의 조합을 거쳐 반도체 제품이 만들어지는데, 이 과정에서 제품의 정밀도 및 용량이 커질수록 공정의 반복횟수가 증가하게 된다. 보통 4M DRAM 제품의 경우 약130개의 공정이며 16M 제품의 경우에는 약170개 공정으로 진행된다.

그 다음에 반도체 조립공정으로 넘어가는데 여기에서는 Package, Module, HIC 등의 제품으로 조립되며 Package는 실리콘 Wafer의 회로소자(chip) 자체로는 시스템에 사용할 수 없기 때문에 소자와 시스템을 연결하고 외부 충격보호 및 발생열을 방출시키는 역할을 하는 것이고 Module은 각종 전자기기의 Memory 증가 및 변화시키기 위한 칩의 집합체이고 HIC는 절연기판위에 도체 및 저항막을 형성하여 반도체 칩과 IC를 실장함으로써 하나의 기능을 갖는 집적회로이다. 물론 모든 반도체가 이렇게 제작되고 있지는 않다. 회사마다 공정이 조금씩 다르고 또 설계회로가 다르기 때문에 투입량이

나 산출량이 다 다르지만 여기에서 연구하고 있는 공정들은 우리나라 기업들이 현재 사용하고 있는 공정으로 가장 일반적인 것이다. 각 공정들에 대한 자료는 일부 기업체의 대외비에 해당하는 것이기 때문에 기업체의 상호는 익명으로 함을 원칙으로 했다. 그러나 여기에서 수치화된 자료들은 직접 공정을 수행하는 회사에서 수집된 가장 신뢰할 만한 자료이다.

3.3 목록분석

1) 반도체 생산공정의 목록분석

반도체 생산공정은 Wafer 제조 공정을 통하여 들어온 Wafer를 가공하여 반도체 제품을 생산하게 되는데 공정 내 투입된 웨이퍼는 확산, 박막, 사진, 식각공정의 조합을 거치게 된다. 각 공정에는 일정한 역할을 수행하는 일련의 장비군을 포함하고 있어서 장비별로 투입되는 원부자재의 종류 및 질은 다양하다. 다만 제품 특성에 따라 공정흐름의 순서가 바뀌고 중복될 수 있는데 고집적 반도체일수록 각 공정별 중복횟수가 늘어난다. 자료의 수집은 4개의 공장에서 '95년 1월 1일부터 12월 31일까지의 자료를 기준으로 수행했는데 각각의 공장에서 제조방법이나 흐름이 조금씩 차이가 나고 재활용을 하는 공정과 하지 않는 공정이 있고 설계회로가 다르기 때문에 투입량이나 산출량이 다르게 나타나는데 이 자료들은 직접 공정을 수행하는 기업에서 수집한 자료로 가장 신뢰도가 높다고 할 수 있으나 자료들이 기업의 대외비에 해당하는 것이므로 상호는 익명으로 하였고 연구자의 편의상 각각 1, 2, 3, 4공장으로 분류해서 자료를 분류했으며 후에 통합하여 합계를 산출하여 영향을 평가하였다.

① 반도체 생산공정에서 총 물질수지

Table. 1. 반도체 생산공정에서 총 물질수지표

[단위 : kg/일]

| 구분 | 공장 | 1 공장 | 2 공장 | 3 공장 | 4 공장 | 합계 | |
|-----|--------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 제품 | wafer | 투입 | 1429 | 1751 | 856 | 498 | 4534 |
| | EA/일 | 배출 | 1326 | 1086 | 672 | 231 | 3315 |
| 대기 | HF | 투입 | 587 | 850 | 15 | 475 | 1927 |
| | | 배출 | 0.71 | 1.7 | 3.24 | 1.06 | 6.71 |
| | HCl | 투입 | 69 | 273 | data gap | 799 | 1141 |
| | | 배출 | 1.32 | 5.19 | 5.9 | 3.46 | 15.87 |
| | SO _x 배출 | | 4.37 | 8.28 | 15.44 | 4.49 | 32.58 |
| | VOC 배출 | | 3.74 | 72 | 171.1 | 49.7 | 296.54 |
| 수질 | 폐수량 | | 6,990,000 | 4,080,000 | 4,642,000 | 3,068,000 | 18,780,000 |
| | 냉각수 | | 1,989,000 | 1,638,000 | 1,672,200 | 1,029,600 | 6,328,800 |
| | 증발수 | | 221,000 | 182,000 | 185,800 | 114,400 | 703,200 |
| | 용수투입량 | | 9,200,000 | 5,900,000 | 6,500,000 | 4,212,000 | 25,812,000 |
| | 재활용수 | | | | 1,400,000 | 1,621,000 | 3,021,000 |
| 재이용 | 폐수재사용 | | | 1,740,000 | 1,400,000 | 1,621,000 | 4,761,000 |
| | IPA | 투입량 | | 7594 | 606 | 569 | 8769 |
| | | 재이용량 | | | 165 | 75 | 240 |
| | H ₂ SO ₄ | 투입 | 2277 | 7453 | 2458 | 1869 | 14057 |
| 재이용 | | | 3467 | | | 3467 | |
| 폐기물 | 폐산 | | 2155 | 563 | 1047 | 2809 | 6574 |
| | 폐용제 | | 1005 | 3745 | 1996 | 819 | 7565 |
| | 폐알칼리 | | 12 | 770 | 160 | 1031 | 1973 |
| | 기타(EA/일) | | 103 | 665 | 193 | 267 | 1228 |
| 기타 | 용해 | | 4063 | 8107 | 2064 | 4239 | 18473 |
| | 공정중 소모 | | 637 | 5812 | 754 | 600 | 7803 |
| | 기타 loss | | 1038.35 | 2364.89 | 1073.23 | 39.17 | 4515.64 |
| 에너지 | 전력(kWh/일) | | 394,769 | 628,124 | 721,342 | 378,500 | 2,122,735 |

② 생산공정 발생폐수 처리장 원단위 현황

Table. 2. 반도체 폐수처리 원단위 현황

| 항목 | 단위 | 생산공정 |
|-------|-------------------|---------|
| 폐수처리량 | m ³ /년 | 6854700 |
| 오니발생량 | m ³ /년 | 10609 |
| 약품사용량 | 톤/년 | 18079 |
| 약품비 | 천원/년 | 1291618 |
| 전력사용량 | kWh/년 | 1232160 |
| 전력비 | 천원/년 | 55447 |
| 비용총계 | 천원/년 | 1347065 |

| 구분 | 단위 | 생산공정 |
|---------|--------------------|---------|
| 오니량/처리량 | kg/m ³ | 1.55 |
| 약품량/처리량 | kg/m ³ | 2.64 |
| 전력량/처리량 | kWh/m ³ | 0.18 |
| 약품비/처리량 | 원/m ³ | 188.43 |
| 총비용/처리량 | 원/m ³ | 196.517 |

원단위를 분석해보면 생산공정에서의 폐수는 약품이 다량으로 들어가기 때문에 처리비가 상당히 높음을 알 수 있는데 “약품량/처리량”이 높은 요인은 물리, 화학적 처리를 위해 Ca(OH)₂와 NaOH가 많은 양이 사용되고 있기 때문인데 그 이유는 불소계폐수에 함유된 F를 고도처리하기 위하여 Ca(OH)₂와 PAC로 1, 2차 이중 처리를 하고 산계폐수를 중화시키기 위하여 NaOH를 다량 사용하기 때문이다.

③ 화학약품 사용원단위 비교

화학약품중의 유독물은 전체 공정중에서 반도체 생산공정이 약 70%정도를 배출하는데 많은 양의 화학약품을 소비하므로 공정개선이나 재사용 등을 통하여 공정의 최적화가 요구된다.

LCA의 목적을 설정시에 Screening LCA를 수행함으로써 반도체를 제조하는 공정에서 주요한 Issue가 무엇인가를 밝히려는 목적을 가지고 현재 LCA를 수행했으므로 목록분석으로 부터 나온 data를 가지고 전체적인 환경영향을 categories에 따라 분류하여야 한다. 영향 category별로 정량화시켜 인체에는 어느 정도의 영향을 끼치며 지구온난화에 미치는 영향의 결과를 도출해내며 자원고갈의 정도가 전체에서 어느 정도나 되는지를 알아내야 하는데 실제로 LCA를 사용하여 그런 영향을 정량화 하기란 쉽지 않다. 그러므로 각 영향범주의 자세한 영향을 알기 위해서는 다른 평가방법으로 정성, 정량적인 분석을 해야 한다.

Table. 3. 연도별 웨이퍼 1장당 유독물과 화학약품 사용량 비교

| 구분 | 년도 | 사 용 량 | 단 위 |
|-----------------|----|----------|-------|
| 유독물사용량 | | 17288712 | kg/년 |
| 화학약품 사용량 | | 7464960 | kg/년 |
| 웨이퍼 생산량 | | 1193400 | EA/년 |
| 제품생산대비 유독물 사용량 | | 14.49 | kg/EA |
| 제품생산대비 화학약품 사용량 | | 6.26 | kg/EA |

④ 대기오염물질 총배출량 [단위 : kg/일]

Table. 4. 대기 오염물질 배출량

| 물질 | HF | HCl | SOx | VOC | 합계 |
|------|------|-------|-------|--------|--------|
| 1 공장 | 0.71 | 1.32 | 4.37 | 3.74 | 10.14 |
| 2 공장 | 1.7 | 5.19 | 8.28 | 72 | 87.17 |
| 3 공장 | 3.24 | 5.9 | 15.44 | 153.56 | 178.14 |
| 4 공장 | 1.06 | 3.46 | 4.49 | 49.7 | 58.71 |
| 합 계 | 6.71 | 15.87 | 32.58 | 296.54 | 351.7 |

2) 반도체 조립공정의 목록분석

이 공정은 반도체 생산공정에서 생산된 Wafer와 기타 원부자재를 조달하여 해당 공정을 수행하고 PACKAGE, MODULE, HIC 등의 제품으로 조립을 한다.

왜냐하면 LCA기법만으로는 영향의 정량화를 하기란 어렵고 또 분명한 영향의 정도를 파악하기 힘들기 때문이다. 그러므로 영향평가의 단계에서는 각공정이 어느 범주에 영향을 미치는지를 파악하는 것이 중요하며 자세한 영향의 정량화는 다른 기법을 이용하여 수행해야 한다.

3.4 전과정 영향평가

① 반도체 조립공정에서 총 물질수지

Table. 5. 반도체 조립공정에서 총 물질수지[단위 : kg/일]

| 단위공정 구분 | | 절단공정 | Plastic package 조립공정 | Ceramic package 조립공정 | Module 조립공정 | HIC 조립공정 | 합 계 |
|---------|-----------------------------|--------|-------------------------|----------------------------|----------------|-------------|----------|
| 제품 | P. Package | | | | | | |
| | C. Package Module HIC | | 44233.52 | 885.9 | 1324 | 2100.8 | 48544.22 |
| 대기 | solder fume | | | | 0.04 | 0.02 | 0.06 |
| 수질 | 투입 | 세척액 | | | | 143.24 | 143.24 |
| | | 용수 | 380000 | | | | 380000 |
| | 배출 | 폐수량 | 350000 | | | | 350000 |
| | | 냉각수 | 27000 | | | | 27000 |
| | 증발수 | 3000 | | | | 3000 | |
| 폐기물 | 사업장폐기물 | 505.82 | 4344.85 | 110.37 | 61 | 26.4 | 5048.44 |
| | 지정폐기물 (폐용제) | | 6.09 | 0.68 | 13.39 | 115.14 | 135.3 |
| 기타 | 소모 및 증발 | | 3.47 | 0.33 | 4.37 | 37.85 | 46.02 |
| 에너지 | 전력사용량 (kWh) | 3428 | 78155 | 10517 | 3901 | 3352 | 99353 |

Table. 6. 반도체 생산공정의 영향분류

| 구분 | 항 목 | 단 위(1년) | 합 계 | 분 류 | |
|------------|-----------------------|---------|---------------|----------|---------------|
| | | | | 규 모 | 영향잠재성 |
| 에너지소비 | 전력 | kWh | 765,399,960 | global | 지구온난화 |
| 자원 소비 | 원료(wafer) | EA | 1,635,480 | | 자원고갈 |
| | 유독물 | kg | 17,288,712 | | 자원고갈 |
| | 화학약품 | kg | 20,201,544 | | 인체영향 |
| | 용수 | kg | 9,292,320,000 | 생태계영향 | |
| 수질오염 물질 | 폐수량 | kg | 6,760,800,000 | regional | 자원고갈 |
| | 냉각수 | kg | 2,278,368,000 | local | 인체영향 |
| | 증발수 | kg | 253,152,000 | regional | 지구온난화 |
| 대기오염 물질 | HF배출 | kg | 2,415.6 | global | 인체영향 |
| | HCl배출 | kg | 5,713.2 | | 생태계영향 |
| | SOx배출 | kg | 11,728.8 | regional | 오존층파괴 |
| | VOC배출 | kg | 106,754.4 | | 산성비 |
| 폐기물 | 원료(wafer) | EA | 442,080 | local | 인체영향 생태계영향 |
| | 폐산 | kg | 2,366,640 | | |
| | 폐용제 | kg | 2,723,400 | | |
| | 폐알칼리 | kg | 710,280 | | |
| 기타 물질 | 용해, 공정중 소모, 기타loss | kg | 11,084,990.4 | regional | |

3.5 전과정 결과해석

1) 목록분석의 결과해석

전과정 결과해석은 목록분석과 영향평가의 서술된 자료들을 종합적으로 해석해야 하는데 목적과 설정된 범위의 한도내에서 결과를 해석해야 하므로 수행범위는 하나의 Chip이 만들어지기까지의 생산과 조립공정을 추적하는 것이었으므로 Chip하나가 만들어지기까지의 투입물들을 살펴보고 거기에 따르는 환경부하를 살펴보고자 하였다. 그래서 EA와 kg의 기능단위를 kg으로 환산하여 동일화를 시켰다.

사실 본 연구에서는 모두 Chip으로만 투입물과 배출물에 할당을 하지만 Chip의 종류만 해도 제품 사양에 맞게 다양한 Chip이 제작되는데 본 연구자가 수집한 자료는 Chip이 기능에 따라 각각의 Chip으로 분류되어 있지 않은 자료만을 수집하였기 때문에 결과의 해석도 Chip으로 밖에 할 수가 없다. 즉, Chip에는 예를 들면 Memory 반도체를 만드는 공정에서는 4MDRAM과 16MDRAM은 각각의 Chip이 같은 공정으로 제조되지만 공정이 loop되는 횟수가 틀려 투입물도 16MDRAM이 훨씬 많이 들어가게 되는 것이다. 여기에서의 자료는 그런 모든 Chip들을 1년동안 생산해서 모든 투입물과 배출물의 balance를 세워 평균치를 얻은 자료이므로 세부적인 사항 즉 16MDRAM이나 4MDRAM만을 위해서 LCA를 수행하려고 한다면 이 연구의 자료와는 많은 차이를 나타내게 될 것이다. 그런 차이를 알고 여기서의 Chip은 모든 여러 가지 Chip의 평균으로서 1kg이 만들어지는데 따른 영향인 것이다.

다음의 표는 Chip 1kg을 생산하는데 투입물과 배출물을 나열한 것인데 이렇게 표에서 보면 눈에 띄는 부분이 반도체 생산공정에서 부원료로 투입되는 유독물과 수처리시의 약품량이다. 유독물에 의한 제일 큰 영향은 유해성과 부식성, 자극성, 폭발성, 강산성 등이 문제가 되는데 이런 유독물이 주로 폐수와 같이 배출되므로 폐수를 처리하기 위해 약품량이 다량으로 투입되는 것이다. 특히 투입되는 약품중에 NaOH가 다량으로 투입되는데 그것은 배출되는 폐수가 강산성을 띠고 있어서 중화제로서 첨가를 하는 것이다. 그러나 이런 처리는 상당히 어렵고 실제로 거의 처리가 되지 않고 폐기처분하게 된다. 왜냐하면 모든 공정의 끝에서 배출되는 물질이기 때문에 어느 성분이 얼마정도나 혼합되어 있는지

를 알지 못하고 그 안에서 서로 반응을 함으로써 해석이 어려워지기 때문이다.

2) 영향평가의 결과해석

① 대기 오염 물질

대기오염물질은 주로 반도체 생산공정에서 배출되는데 대기로 배출되는 주요대기오염물질을 보면 분진, SO₂, NO_x, CO 등의 일반오염물질과 Pb, 불소화합물, HCl 등의 특정대기유해물질이 발생하는데 화학류 fume은 흡수에 의한 시설(Scrubber)를 통하여 오염물질을 집진처리하고 기체상 물질은 1차 반응시설을 거쳐 무독성 물질로 화학반응후 2차 처리시설인 흡수에 의한 시설(Main Scrubber)에 의하여 처리되어 대기로 배출된다. 그리고 조립공정에서는 HIC 및 Module 조립공정에서 Solder fume이 발생한다. 그러므로 이런 배출물들 때문에 오존층이 파괴되고 지구가 더워지며 인류와 생태계에 직접이든 간접이든 악영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

② 수질 오염 물질

생산공정에서는 웨이퍼의 세척, 식각, 사진 등의 공정에서 산계폐수, 불소계폐수, Solvent 폐수가 발생되어 처리가 어렵고 조립공정에서는 웨이퍼를 절단하는 공정에서 폐수가 발생하는데 이 폐수는 오염도가 적어 비교적 처리가 용이하다.

생산공정에서 배출된 폐수는 먼저 물리, 화학적 처리를 거치는데 2차 침전조에 생성된 PAC Sludge (AlF(OH)₂)를 1차 반응조에 반응시키면 pH가 높은 상태에서 AlF(OH)₂가 분해되어 Al³⁺가 F⁻으로 되는데 F⁻은 잔류하는 Ca²⁺와 반응하여 CaF₂↓로 제거되고 Al³⁺은 재사용이 가능하도록 활성화되어 2차 반응조에 PAC 투입량을 줄일 수 있다. 이로 인하여 PAC Sludge 발생량을 줄일 수 있어 폐기물 발생량을 감소시키며 F 처리효율도 20-30%정도 증가된다. 또 유독물은 주로 폐수로 배출이 되므로 수처리장에서 처리시 주의를 요하고 폐기물 발생시에도 지정폐기물로서 특정한 처리를 해야 한다.

③ 폐기물

생산공정에서는 액상 화학물질의 사용으로 폐산, 폐알카리, 폐용제류가 발생하고 조립공정에서는 scrap 폐기물이 발생된다. 우리 나라와 같이 국토가 적고 인구 밀도가 높은 나라에서는 먼저 폐기물의 발생을 제품생

Table. 7. Chip 1kg에 따른 투입 및 배출의 정량화
Chip 1kg 생산시 투입 및 배출되는 물질 [단위 : kg]

| 공정 | | 반도체 생산 | wafer절단 | Plastic Package | Ceramic Package | |
|----------|------------|----------------|-----------|-----------------|-----------------|--------|
| 구분 | | | | | | |
| 투입 | wafer | 1.527 | 1.114 | 0.982 | 0.018 | |
| | 부원료 | 99.255(유독물) | 1.368 | 118.831 | 1.936 | |
| | | 60.757(화학약품) | | | | |
| | | 145.119(수처리약품) | | | | |
| | 용수 | 75629.16 | 1113.4 | | | |
| | lead frame | | | 22.549 | 0.6192 | |
| 에너지(kWh) | 6229.51 | 12.948 | 228.994 | 27.134 | | |
| 배출 | 제품 | 1.114 | 1 | 129.604 | 2.286 | |
| | 대기 | HF | 0.02 | | | |
| | | HCl | 0.047 | | | |
| | | SOx | 0.096 | | | |
| | | VOC | 0.869 | | | |
| | 수질 | 폐수 | 55025.4 | 1025.5 | | |
| | | 냉각수 | 18543.384 | 79.11 | | |
| | | 증발수 | 2060.376 | 8.79 | | |
| | 폐기물 | 탈수 cake | 85.161 | 0.335 | | |
| | | 폐산 | 19.262 | | | |
| | | 폐용제 | 22.165 | | 0.018 | 0.0017 |
| | | 폐알카리 | 5.781 | | | |
| | | 사업장폐기물 | 0.413 | 1.482 | 12.73 | 0.285 |
| | | 기타 | 90.22 | | 0.01 | 0.0009 |

산에서부터 원천적으로 줄여야 하겠고 그 다음으로 배출된 폐기물을 재활용, 재이용하고 감량화를 하여야 할 것이다. 그래서 요즘에 재활용이 강조되고 확대되어 가는데 반도체 제품중에 Module을 생산하는 공정에서 Printed Circuit Board가 사용되는데 이 PCB에서 유가금속을 회수한다든지 Chip과 lead frame을 연결시켜 기계적, 전기적 특성을 얻기 위한 bonding wire공정에서는 금이 사용되는데 이 금은 순도가 99.995%이상의 고순도를 필요로 한다. 그래서 gold wire을 만들 때 순도 높은 금을 사용하여 만들기 때문에 전체 반도체의 가격이 상승하므로 gold wire를 생산시 발생하는 gold scrap을 재활용하여 다시 공정에 투입하는 등 자원의 재활용이 요구된다.

④ 기타

소음진동의 영향은 제조공정 거의 모두가 clean room에서 진행되기 때문에 실측결과 수치가 적어 영향이 거의 없는 것으로 간주되고 생산공정에서 각종 유해하고 독성이 있는 가스를 사용하므로 가스누출시 안전사고 및 화재발생의 가능성이 있고 액상류 화학물질의 저장탱크 시설의 누출로 인한 인체피해 및 오염가능성도 배

제할 수 없다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 국제적으로 많은 관심이 집중되고 있고 환경관리도구의 하나로 크게 부각되고 있는 LCA에 대하여 그 개요 및 방법론 등을 정립하고 적용시에 문제점들과 개선점들을 살펴보고 반도체 Chip의 생산공정과 조립공정에 대하여 실제 LCA를 적용해 보았다. 이 연구를 수행하면서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) LCA에 대한 지구적인 차원에서의 투명성과 외부관계자들의 인정을 받을 수 있으려면 객관적 사실에 근거하여 이해당사자를 위한 것이 아닌 국제적으로 표준화된 방법론의 정립이 시급.

2) LCA의 수행만으로 환경영향 전체를 파악하는데는 무리가 있고 잘못된 결과를 초래할 수가 있음을 인지하여 다른 평가방법 즉, 독성학적 자료나 인간의 안전이나 유해정도를 파악하거나 사고사의 분석이나 오염정도로 나타나게 되는 결과의 정량화된 예측 등을 평가

할 수 있는 평가방법과 연계하여 신중하게 투명성을 보장하면서 평가되어야 할 것이다.

3) LCA를 수행할 때에는 먼저 선결되어야 할 가장 중요한 문제가 현 상황에서의 적용하려는 System의 정확한 자료의 수집과 기존의 데이터베이스를 활용하는 문제이므로 산업계별로 각 업종의 자료들을 관리하여 서로 정보의 공유가 가능하도록 하고 데이터베이스를 구축하여 연구 수행을 가능하도록 하는 것이 필요한데 물론 각 기업의 비밀이 대외로 유출될 염려가 있으나 그런 점은 산업협회에서 관리를 함으로써 다른 어떤 방법보다 비밀 유지가 용이하다고 생각되고 오래된 data들의 변환이나 upgrade도 용이하다고 생각된다. 그러나 아직 우리나라에서는 기업과 산업협회간의 또 산업협회와 정보필요자간의 정보의 흐름을 공유하기에는 아직 부족한 점이 많아 각분야의 노력과 협조가 필요한 부분이다.

4) LCA의 국제표준화에 우리나라 참여도가 상당히 부족한데 표준이 적용되면 국제무역에서 상당한 장벽으로 작용될 것으로 보이기 때문에 각 기업에서는 환경마인드를 갖고 현상황에 앞서 나갈 수 있도록 하는 경영혁신 즉, 환경이 비용을 소비하며 무역에 장애가 되는 부분으로 파악하는 것이 아니라 환경을 새로운 비용창출과 무역개선의 기회로 삼고 고부가가치를 창출할 수 있는 개선의 기회로 삼는 경영혁신이 필요하고 학계에서는 LCA 방법론을 개발하고 실제 적용이 가능하도록 연구개발하며 정부에서는 이런 연구가 수행될 수 있도록 재정지원과 외국의 사례연구를 널리 알리고 보급하고 LCA전문가를 육성하기 위한 지원을 해야되는 등 다각적인 분야에서 LCA에 대한 접근이 필요하다.

5) 지금까지 정립된 LCA 방법론으로 반도체에 대한 LCA를 수행하였는데 Chip 1kg이 만들어 지기 위해 요약하면 다음과 같다.

-에너지소비량 : 6498.586 kWh(B-C유, 경유, 증기등도 실제 사용되지만 정량화된 자료가 부족하여 에너지는 전력만을 고려하였음.)

-자원소비량 : 451.9632 kg(원료와 부원료 및 화학약품등 용수를 제외한 투입되는 모든 투입물의 합계)

-대기오염부하 : 1.032 kg(최종 배출되는 물질의 합)

-수질오염부하 : 76.74 ton(폐수와 증발수와 냉

각수의 합)

-폐기물부하 : 237.6537 kg(지정폐기물과 사업장폐기물의 합)

6) 공정개선 대책

① 오존층 파괴물질인 CFC 배출

- 박막공정중 이온주입기 냉각시 사용되는 CFC를 냉각수로 대체하면 CFC계열의 가스를 배출하지 않음으로 오존층 파괴방지에 기여할 수 있음.

- 확산공정중 산화막형성시 사용되는 TCE 가스를 DCE 가스로 대체하면 CFC 계열의 폐기물 배출량을 저감할 수 있음.

- 식각공정중 폴리실리콘 식각시 CCl_4 , 산화막 식각시 C_2F_6 가스가 사용되는데, CCl_4 는 Cl_2 로 C_2F_6 는 SF_6 로 대체하면 CFC 계열 가스를 전혀 사용하지 않으므로 오존층 파괴방지에 기여할 수 있음.

여기서 TCE(TriChloroEthylene, $C_2H_3Cl_3$)이고 DCE(DiChloroEthylene, $C_2H_2Cl_2$)이다. 이와 같은 공정개선의 효과는 몬트리올 의정서나 기후변화협약의 체결로 점차적인 지구온난화 물질배출에 많은 제재가 가해지므로 국제 무역을 하기 위해서는 이런 공정개선이 많이 이루어져야 한다

② 계속되는 세정공정에서 유독물과 용수의 다량 사용

거의 모든 공정의 전후에 세정공정을 거치는데 이러한 세정공정으로 인하여 용수의 사용량이 증가하고 유독물의 처리가 어려워지므로 Skip할 수 있는 공정을 발견하여 Skip을 하고 꼭 세정이 필요한 공정에서는 유독물을 처리가 쉬운 화학물질로 대체하는 공정개발

③ 식각공정에서 식각의 방법 개선

기존의 습식식각의 경우 황산과 과산화수소수를 사용하여도 Polymer가 완전히 제거되지 못하고 또 황산과 과산화수소수로 인해 수질 및 대기오염을 유발하는데 세정액으로 초순수를 사용하므로 공정의 온도가 내려가고 사용량도 감소

참고 문헌

- 1) Curran, M.A., "Board-based Environmental Life Cycle Assessment," ES & T, Vol. 27 No3, page 430-436,

(1993)

2) Göran Svensson and Tomas Ekvall, Criterias for a National Database for LCA, AFR-Report 37, (1994)

3) ISO/CD 14011/1, Audit procedures-part 1 : Auditing of environmental management systems, (1994)

4) ISO/CD 14040, Life Cycle Assessment-General principles and practices, (1994,9), page 185

5) ISO/TC 207/CD 14010, General Principles of Environmental Auditing, (1994)

6) J.W. Owens., <The Procter & Gamble Co. Cincinnati U.S.A.>, J.W. Ahn. <P & G Korea Inc.> "Two Decades of LCA" page 210-214, 219-221 (1996)

7) Manfred Marsmann, Adaptive Strategies for Future -Oriented thchno-Industries Workshop中에서 "Environmental Challenges and Strategic Perspectives of the Chemical Industry" (1996. 9) page 234

8) Mark Goedkoop, Life Cycle Analysis 전과정평가, PRe(Netherlands), (1995)

9) R. Heijungs(final editor), Environmental Life Cycle Assesment of Products Guide & Background, NOVEM (Netherlands agency for energy and the environment), (1992)

10) Richard C. Jaeger, Introduction to Microelectronic Fabrication Volume 5, Auburn University, (1993)

11) Sven-Olof Ryding, International Experiences of Environmentally-Sound Product Development Based on LCA, AFR-Report 36(Swedish Waste Research Council), (1994)

12) 공업진흥청, 국제환경표준화, ISO/TC 207/SC 5, (1994)

13) 김선희, Life Cycle Assessment의 방법론과 적용에 관한 연구, (1994) 5, 38

14) 노재식, 부문별 환경행정의 현황과 과제, 국가기술 자문회의 위원, (1995)

15) 박원훈, 환경과학기술정책의 현황과 과제, KIST 환경시스템 연구실장, (1995)

16) 신동식, 국내외 환경규제 동향과 산업 대책, 통상산업부 산업환경과장, (1996)

17) 허탁, LCA의 개념 및 국내외 현황, 건국대학교 공업화학과, (1996, 9)