

다부품 시스템의 적용을 위한 전과정평가 기법

김성진 · 허 탁

(건국대학교 공업화학과)

Life Cycle Assessment Methodology for a Multi-Component System

Soung-Jin Kim and Tak Hur

(Department of Industrial Chemistry, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

ABSTRACT

A multi-component system like an automobile is composed of several thousands of components and considerable parts of them are fabricated and manufactured outside of the product manufacturers. The manufacturing and assembly of these products represents a complex chain of processes controlled by a network of original equipment manufacturers(OEMs) and suppliers. This makes it difficult to get precise information of a great number of components which are required in order to carry out an LCA study of a multi-component product system.

In this paper, a practical and systematic LCA methodology for a multi-component system, with which a time and cost effective study can be carried out for a highly complex system is developed. The life cycle inventory for a multi-component system is established based on the ecological data of modules and sub-modules by using a combination of top-down and bottom-up approaches.

Key Words : Life Cycle Assessment, Module, Multi-component system

요 약 문

자동차와 같이 수많은 부품으로 이루어진 다부품 시스템의 경우 상당한 양의 부품들이 외주로 만들어져 최종조립 업체(OEM)에서 조립되는 방식으로 제조된다. 따라서 제품의 제조와 조립은 OEM과 부품제조업자간의 복잡한 그물 모양의 네트워크 방식으로 나타나게되므로 제품의 전과정평가에 필요한 수많은 부품에 대한 상세한 정보를 모으는 것은 매우 어렵다.

이 논문에서는 이러한 다부품시스템에 대한 시간과 비용면에서 실질적이고 체계적인 전과정평가 방법론을 제시한다. 이방법은 자동차와 같은 다부품 시스템의 전과정목록분석을 top-down approach와 bottom-up approach의 적절한 조합으로 하부모듈과 모듈의 생태학적인 데이터를 기초로 목록을 작성하는 방법이다.

주제어 : 전과정평가, 모듈, 다부품시스템

I. 서 론

생활수준이 향상됨에 따라 편리함과 풍요로움을 주는 제품들의 기능은 다양화, 고성능화를 추구하고 있다. 이렇게 편리한 제품들은 우리의 생활에 없어서

는 안될 필수품이 되었지만 사용에 따른 환경의 오염은 매우 심각한 문제로 떠오르고 있다. 현대사회의 지속적인 경제발전과 기술의 발전에 따른 각종산업 활동 및 서비스의 증가는 오늘날 우리에게 많은 혜택을 주고 있으나, 이와 동시에 매우 심각한 환경문제를 유발시키게 된 것이다.

환경 문제가 이슈화되면서 제품의 품질과 가격은 물론 제품과 관련된 환경적인 측면을 고려하는 것이 필수적인 것이 되었다. 따라서, 전과정평가를 통하여 제품시스템과 관련된 환경영향을 평가하는 것이 매우 중요하다. 특히, 환경 친화적인 제품을 생산하기 위해서는 제품과 관련된 환경 영향 요소들을 규명하고, 중대한 환경영향의 개선을 이루어야한다. 이를 위해서는 전과정평가를 통하여 환경적으로 우수한 재료 및 공정을 선택함으로써 환경친화적인 제품을 설계해야 하지만 많은 부품으로 이루어진 제품의 경우는 그 전과정이 매우 복잡할 뿐 아니라 기존의 전과정평가 방법을 이용하여 환경적인 측면을 평가하는데 너무 많은 시간과 경비가 소요된다.

소비자가 원하는 제품을 적시에 생산, 공급하기 위해서는 디자인서 재질이나 공정의 선택에 도움을 줄 수 있는 간편화된 전과정평가를 필요로 한다. 따라서, 이러한 복잡한 시스템의 경우에는 일반적인 시스템에 적용되는 전과정평가와는 그 방법과 절차가 달라 하는 것이 바람직하다.

많은 부품으로 이루어진 시스템의 경우에는 대부분의 부품들이 외주로 만들어져 조립업체로 납품하는 방식을 가진다. 여러 업체에서 만들어진 각 부품을 최종 조립업체에서 생산하게 되므로 그 시스템은 일반적으로 매우 복잡한 그물 구조로 되어있고 이로 인해 데이터의 수집 또한 어려운 작업일 것이다. 다 부품 시스템의 전과정평가시에 발생하는 이와 같은 문제점들을 해결하기 위한 노력이 현재 관련 업체를 중심으로 이루어지고 있다. 그 중 가장 대표적인 방법이 bottom-up과 top-down 방식으로 그것들은 각기 나름대로 장단점을 가지고 있다. bottom-up 방식의 경우, 모자이크 방법을 들 수 있는데 조각을 맞추듯 각 부품에 대한 데이터 하나 하나를 모아 전체제품에 대한 목록을 완성하는 방법으로 상대적으로 정확한 데이터가 세밀히 조사된다는 장점이 있는 반면에 수집하는데 필요한 시간이 매우 많이 소요되는 단점을 가지고 있다. 이와 달리 top-down 방식의 경우는 전체시스템을 몇 개의 대표적인 부품, 재질, 공정으로 나누어 수행하는 방법으로 시간과 비용이 많이 드는 위의 모자이크 방법에 대한 단점을 보완하였으나 매우 간단한 방식이므로 정확성과 상세

함이 부족한 단점이 있다.

본 연구에서는 복잡한 시스템의 환경영향을 합리적이고 실질적으로 평가하기 위해 top-down 방식과 bottom-up 방식의 장점을 결합시킨 제품의 모듈화를 통한 전과정평가 방법을 제시하고자 한다.

II. 모듈화에 따른 전과정목록 작성방법

1. 모듈화

각 부품에 대해 전과정목록분석을 수행하고 그 결과들을 취합하여 전체 시스템에 대한 전과정목록을 작성하는 이른바 모자이크방법은 인력과 비용뿐만 아니라 많은 시간을 요구하므로 시간적으로 여유가 적은 제품개발단계에서 적용하기가 어렵다. 이 방법의 단점을 보완하여 짧은 시간에 효율적으로 전과정평가를 수행하기 위해서는 우선 모듈화를 통하여 복잡한 시스템을 단순화시키는 것이 필수적이다. 현재 제조업계는 부품의 기능을 통합하여 하나의 부품이 여러 가지의 기능을 가지게 함으로써 부품의 수를 줄이는 노력을 하고 또한 공용화 부품의 수를 늘리는 추세이므로 이러한 모듈화 작업은 더 쉽게 가능해진다.

모듈화는 크게 부품의 모듈화, 재질의 모듈화, 공정의 모듈화로 나눌 수 있다. 먼저 부품의 모듈화는 시스템의 수많은 부품들을 기능이 유사하거나 관련성이 큰 것끼리 묶는 방법과 비슷한 재질로 구성된 것들을 무계별로 묶는 방법이 있다. Table 1은 자동차를 각 부품의 기능에 따라 부품을 몇 개의 모듈로 나눈 것을 보여주고 있다. 자동차를 interior, exterior, chassis, powertrain, 그리고 body의 5개 모듈로 나누었으며, 각 모듈은 다시 10-20개 정도의 하부모듈로 구성되어 있다. Interior모듈의 예를 보면 seat, consol, instrument panel, door trim, head lining...등과 같은 하부모듈로 구성되어 있다. 하부모듈은 일반적으로 최종조립업체에서 실제로 조립하는 조립단위로 정의된다. Fig 1은 자동차의 body모듈을 무게 기준으로 7개의 그룹으로 분류하였다. 5개의 그룹(부품수로는 약 20%)만을 고려해도 무게기준으로 자동차 몸체모듈의 95% 이상을 포함

하게 됨을 알 수 있다. 이와 같이 모듈화를 대표재질과 공정에도 적용하면 복잡한 부품시스템을 단순화할 수 있다.

Table 1. Modularization of an automobile

| | | |
|----------|------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Parts | Interior | Seat Consoles Instrument Panels Door trim Headlining |
| | Exterior | Bumper Head/Tail Lamp |
| | Chassis | Suspension system Steering system Brake system |
| | Powertrain | Transmission assembly Engine block Clutch system |
| | Body | Floor panel Side body panel |
| Material | Metal | steel ... |
| | Plastics | LDPE ... |
| | ... | ... |
| Process | Press shop | |
| | Paint shop | |
| | ... | |

부품목록(part list)을 분석하여 적절한 모듈화를 이루고 나면 각 하부모듈에 대하여 관련된 재료와 공정을 규명하여 Table 2에서 보는 바와 같이 나타낸다. 각 번호는 모듈을 나타내고 작은 번호는 모듈을 구성하고 있는 하부모듈을 나타낸다. 1번 interior 모듈의 예를 보면 1.1 seat 하부모듈은 450g의 PVC와 150g의 steel 등의 재질로 구성되어 있고, PVC는 injection molding 및 coating 공정을 거치며 steel은 forging과 bending 공정을 거침을 알 수 있다.

이와 같은 방법으로 각 하부모듈에 대하여 관련 재질 및 공정에 대한 분석이 완성되었다면 무게를 기준으로 하여 95%까지 하부모듈을 포함시킨다. cut-off 기준은 전과정평가 수행 목적과 상황에 따라 변할 수 있다. 무게를 기준으로 cut-off 작업을 수행한 다음 대표재질과 공정을 선정하게 되는데 재질의 경우는 일반적으로 사용량과 무게를 기준으로 선택을 하게 되며 독성이 강한 재질의 경우는 소량이라도 포함을 시켜야 한다. 공정의 경우는 대표재질이 거치는 공정을 기준으로 선택을 하는데 특히 에너지 소비가 많은 공정을 중점적으로 분석하여 선택을 한다. 선택된 대표재질과 공정은 가능한 상세하게 분석하여 데이터를 수집한다. 선정된 재질 및 공정의 데이터를 다른 부품 또는 다른 연구에서 쉽게 다시 사용하기 위해서는 일정한 포맷에 맞추어 정리를 하는 것이 바람직하다. 일반적으로 데이터 포맷은 다음의 세 가지 범주에 대한 정보를 포함하고 있어야 한다.

- ▶ 공정에 대한 설명
- ▶ 공정에 관련된 투입/배출물의 목록
- ▶ 데이터의 특성, 즉, 데이터의 품질과 출처의 기술 그리고 공정의 경계결정 등

공정의 설명은 공정의 이름과 데이터 기준 년도, 공정의 절차와 조건 등에 대한 간략한 설명이고, 공정에 관련된 투입/배출물에 대한 목록은 공정에 필요한 투입물과 보조물질 그리고 이에 따른 대기, 수계, 토양오염물질 및 폐기물 등에 대한 목록이다. 데이터의 특성에 대한 정보는 대표 재질 및 공정에 대한 데이터베이스 구축 시에 매우 중요한 부분으로 데이터의 출처, 데이터의 대표성, 데이터 값과 품질, 공정에 사용된 기술수준에 대한 설명들을 나타낸다.

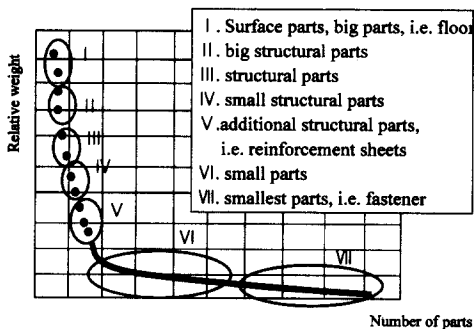


Fig. 1. Statistical distribution of part weight for body module.

2. 대표재질 및 공정의 데이터베이스 구축

Table. 2. An example of part list analysis

| Module | | Material | | | Manufacturing process | | | Ancillary substance | | |
|----------|-----------------------|----------|------|----------|-----------------------|----------------|--------------|---------------------|------|----------|
| No | Name | Name | Unit | Quantity | Name | Unit | Quantity | Name | Unit | Quantity |
| | New Car | | | | Assembling | s | 13,200 | | | |
| 1 | Interior | | | | Assembling | s | 3,600 | | | |
| 1.1 | Seat | PVC | g | 450 | Injection molding | kg | 0.3 | | | |
| | | | | | Coating | m ² | 5.4 | | | |
| | | Steel | g | 140 | Forging | kg | 0.15 | | | |
| | | | | | Bending | m | 0.3 | | | |
| ... | | | | | | | | | | |
| 1.2 | Instrument Panels | PP | g | 1,200 | Injection molding | kg | 0.8 | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| | | ... | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | |
| 2 | Exterior | | | | Assembling | s | 1,200 | | | |
| 2.1 | Bumper | PP | g | 6,000 | Injection molding | kg | 3.5 | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | |
| 2.2 | Head Lamp | Glass | g | 1,000 | ... | | | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | |
| 3 | Chassis | | | | Assembling | s | 3,600 | | | |
| 3.1 | Suspension system | Steel | g | 12,000 | Cutting | m | 3 | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| 3.2 | Steering system | Al | g | 500 | Extrusion | kg | 0.4 | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | |
| 4 | Powertrain | | | | Assembling | s | 3,600 | | | |
| 4.1 | Transmission assembly | Steel | g | 1,000 | Punching | m | 1.4 | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| 4.2 | Engine block | Steel | g | 120,000 | Cutting | m | 2.3 | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | |
| 5 | Body | | | | Assembling | s | 1,200 | | | |
| 5.1 | Floor panel | Steel | g | 5,000 | Pressing, Welding | m | 0.4 | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| 5.2 | Side body panel | Iron | g | 14,000 | Cutting | m | 1.6 | | | |
| | | | | | ... | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | |

3. 모듈별 데이터베이스 작성

대표 재질 및 공정에 대한 데이터베이스가 완성되었다면 각 하부모듈에 대하여 데이터베이스를 작성해야 한다. 일정한 포맷에 맞게 이미 구축되어 있는 공정 및 재질의 데이터베이스를 이용하여 모듈내의 부품군(component group)들에 대한 목록을 계산을 통하여 완성한다.

여기서 재질 및 공정의 설명을 검토하여 데이터의 사용가능성 여부를 확인해 적절하지 않은 경우는 다른 데이터로 대체 하거나 다시 구축하는 것이 바람직 할 것이다.

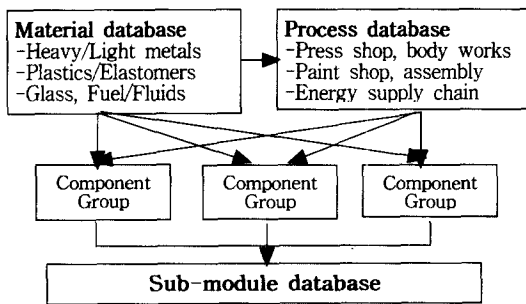


Fig. 2. The models for establishing sub-module database.

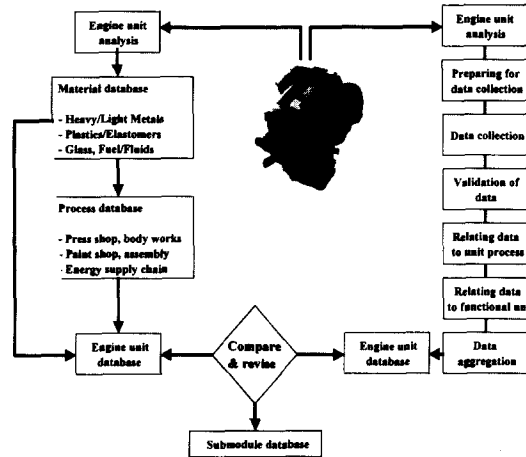


Fig. 3. Examining and revising database through the calculation

Fig 2에서 보는 바와 같이 이미 구축된 재질 및 공정의 데이터베이스를 적절히 조합하여 하부모듈을 이루고 있는 부품군에 대한 목록을 작성하고 이를 취합하여 하부모듈에 대한 목록을 구축한다. 일반적으로 대표재질의 데이터는 금속류와 플라스틱류, 무

기재료류 등에 대한 것이고 대표공정의 데이터는 각 재질의 대표적인 공정 및 에너지 소비가 많은 공정에 대한 것이다. 선정된 주요부품을 포함하고 있는 하부모듈에 대한 목록이 Fig.2의 데이터베이스를 이용한 계산을 통하여 작성되면, 각 하부모듈에 대한 목록을 취합하여 모듈에 대한 전과정목록을 완성한다. 이때, Fig 3과 같이 일부 주요부품에 대해서는 실제로 전과정목록분석을 수행하여 얻은 전과정 목록과 계산을 통하여 얻은 목록을 비교 검토함으로써 이 방법으로부터 얻은 결과에 대한 신뢰도 여부를 검토 보완할 수 있을 것이다.

4. 전과정목록작성

Fig. 2와 같은 방법으로 하부모듈에 대하여 환경 데이터가 구축되면, 이를 토대로 각 모듈에 대한 데이터베이스를 구축하고, 궁극적으로는 최종 제품에 대한 전과정목록을 짧은 시간에 얻을 수 있게 된다. 신뢰도가 높은 전과정목록 데이터를 구축하기 위해서는 각 부품군이나 하부모듈에 대해 고품질의 데이터를 수집하는 것이 매우 중요하다. 같은 부품그룹이나 하부모듈 또는 모듈을 사용하는 제품이 있다면 데이터베이스를 다시 구축할 필요 없이 각 그룹의 ID number에 따라 기존의 데이터베이스를 다른 제품의 전과정평가에 사용할 수 있다.

모듈화 방법은 전과정평가 수행자의 의도나 수행 대상 그리고 목적 및 범위에 따라 방법 및 절차가 다소 다를 수도 있지만 자동차의 경우에는 Fig. 4와 같은 절차에 따라 수행될 수 있다. Fig. 4는 자동차 업계의 현 추세인 플랫폼의 공용화와 부품의 모듈화에 기초한 전과정목록분석의 절차를 보여주고 있다. 자동차 A 모델의 부품 목록을 분석하여 다섯 개의 모듈로 나누고 각 모듈을 다시 하부모듈로 나눈 후 Fig. 2에서 설명한 절차에 따라 하부모듈의 데이터베이스를 구축한다. 각 하부모듈에 대하여 구축된 데이터베이스를 모듈별로 취합하고 조립에 대한 데이터를 추가하여 전체 자동차 한 대의 제조단계까지의 전과정목록을 완성한다. 다른 자동차 모델에 공통으로 사용된 모듈의 데이터는 각각의 ID-number에 따라 적용하고 플랫폼공용화가 적용된 모델일 경우

는 그림과 같이 플랫폼 전체에 대한 데이터베이스를 구축하고 고유 ID-number를 붙여 공용의 플랫폼을 쓰는 다른 차종에 적용할 수 있다. 자동차 한 대의 제조에 대하여 구축된 데이터에 사용단계, 재사용, 재활용 그리고 폐기에 대한 데이터를 추가해 자동차 한 대의 전과정에 대한 전체 전과정목록을 작성할 수 있다.

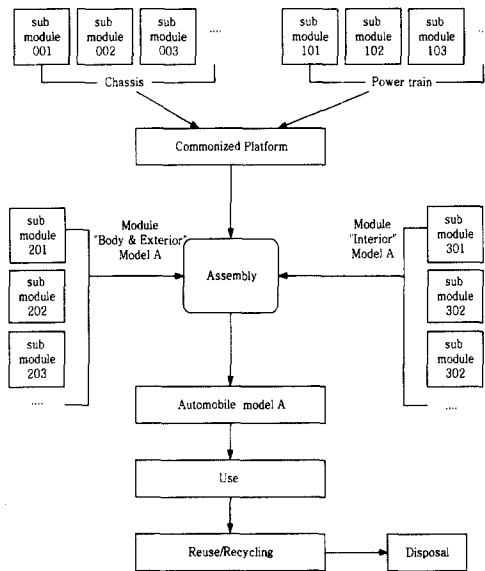


Fig. 4. Schematic diagram of LCA methodology for a whole automobile.

III. 사례연구

본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 자동차 exterior 모듈의 하부모듈인 범퍼에 대한 전과정목록을 분석하였다.

범퍼는 Fig. 5와 같이 크게 energy absorber, impact beam, fascia 등 3가지 주요부품으로 구성되어 있다. 시스템 경계는 PP 범퍼에 대한 원료 획득에서부터 원자재 수송, 부품 제조, 조립까지를 포함하는 것으로 설정하였다. Fig. 6에서 어렵게 표시된 부분은 PP범퍼 시스템의 시스템 경계와 공정흐름도를 나타내고 있으며, 전체는 PP범퍼의 전과정과 관련된 공정흐름도를 설명하고 있다.

전과정목록 작성시에 기준이 되는 기능단위(functional unit)는 1500cc 승용차의 자동차 몸체를 보호하는 PP 후방범퍼 1개로 정의하였다.

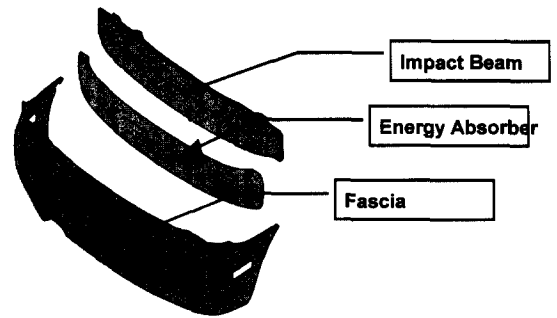


Fig. 5. Bumper components.

Table 3. Analysis of a bumper submodule

| Module | | Material | | | Manufacturing process | | | Ancillary substance | | |
|---------|-----------------|----------|------|----------|-----------------------|------|----------|---------------------|------|----------|
| No | Name | Name | Unit | Quantity | Name | Unit | Quantity | Name | Unit | Quantity |
| Model C | | | | | | | | | | |
| 2.1 | Bumper | | | | Assembling | s | 180 | | | |
| 2.1.1 | Energy absorber | LDPE | g | 4560 | Injection molding | | | | | |
| 2.1.2 | Impact beam | Steel | g | 8094 | Pressing | | | | | |
| | | | | | Welding | | | | | |
| | | | | | Painting | | | | | |
| 2.1.3 | Fascia | PP | g | 4456 | Injection molding | | | | | |
| | | | | | Painting | | | | | |

Table.4. Life Cycle Inventory of a bumper

| Environmental input/outputs | | unit | Allo- cation factor (f) | Statistic | | | Character- ization | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------|------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|
| SM001 | Bumper | | | Volume (μ) | coeffi- cient of variation (σ/μ) | Function of distribution (D) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Input | | | | | | | | | | | | |
| Energy | | | | | | | | | | | | |
| | Brown coal | kg | 1 | 5.29E-01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Crude oil | kg | 1 | 9.97E+00 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | diesel | g | 1 | 4.34E+01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | | | | | | |
| Resources | | | | | | | | | | | | |
| | 소석회 | g | 1 | 2.05E+00 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | 소포제 | g | 1 | 4.90E-01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | 유산반토 | g | 1 | 3.05E+00 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | 응집제 | g | 1 | 1.03E-01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | 활성탄 | g | 1 | 1.29E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | 황산알루미늄 | g | 1 | 7.04E+00 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Air | kg | 1 | 2.47E+01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Alum | g | 1 | 2.52E+01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Barite ore and bentonite | kg | 1 | 3.49E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | | | | | | |
| | Polymer | g | 1 | 1.43E-01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Process water | kg | 1 | 3.17E+01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Renewable fuels | kg | 1 | 5.23E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Sodium chlorid (NaCl) | kg | 1 | 4.74E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| Materials | | | | | | | | | | | | |
| | Lubricant oil | kg | 1 | 2.58E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Reinforcement plate | kg | 1 | 3.88E-01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | scrap | kg | 1 | 1.38E+00 | 0.1 | logN | | | | | | |
| Emission to air | | | | | | | | | | | | |
| | Ammonia (NH3) | kg | 1 | 8.46E-06 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Antimony (Sb) | kg | 1 | 9.69E-09 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Arsenic (As) | kg | 1 | 1.50E-08 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Ash | kg | 1 | 4.10E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Barium (Ba) | kg | 1 | 1.16E-07 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | | | | | | |
| | U234 | Bq | 1 | 4.27E-03 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | U238 | Bq | 1 | 3.03E-04 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Vanadium (V) | kg | 1 | 1.07E-08 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | VOC | kg | 1 | 9.58E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Zinc (Zn) | kg | 1 | 2.69E-07 | 0.1 | logN | | | | | | |
| Emission to water | | | | | | | | | | | | |
| | Acids (H3O+) | kg | 1 | 5.47E-03 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Ammonia (NH3) | kg | 1 | 1.43E-05 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Ammonium ions (NH4+) | kg | 1 | 2.78E-04 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Anorganic solids dissolved | kg | 1 | 4.43E-04 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | AOX | kg | 1 | 2.26E-08 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | | | | | | |
| | Thallium (Tl) | kg | 1 | 1.94E-12 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | TOC (Total organic compound) | kg | 1 | 1.07E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | U | Bq | 1 | 1.97E+01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Vanadium (V) | kg | 1 | 2.86E-07 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Zinc (Zn) | kg | 1 | 4.52E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| Emission to soil | | | | | | | | | | | | |
| | disused oil | kg | 1 | 1.78E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Gypsum (CaSO4.2H2O) | kg | 1 | 2.16E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Ash | kg | 1 | 5.35E-02 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Ore processing residues | kg | 1 | 1.88E-01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | Overburden | kg | 1 | 7.79E+00 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | 특정 폐기물 | g | 1 | 9.49E+01 | 0.1 | logN | | | | | | |
| Waste | | | | | | | | | | | | |
| | Burnt out Uranium (U) as residue | kg | 1 | 2.95E-06 | 0.1 | logN | | | | | | |
| | CaF2 (little radioactive) | kg | 1 | 2.48E-06 | 0.1 | logN | | | | | | |

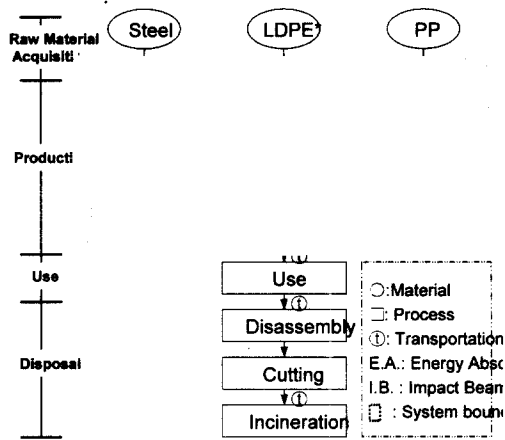


Fig. 6. Process tree and system boundary of bumper.

먼저 범퍼의 구성부품을 분석하여 다음의 Table 3과 같이 나타낸다. Table 3에서 나타난 것과 같이 범퍼는 LDPE 4560g을 injection molding공정으로 만든 energy absorber와 pressing, welding, painting의 공정을 거친 steel 8094g으로 만들어진 impact beam, 그리고 injection molding과 painting공정을 거친 PP 4456g으로 만들어진 fascia로 구성되어 있음을 알 수 있다.

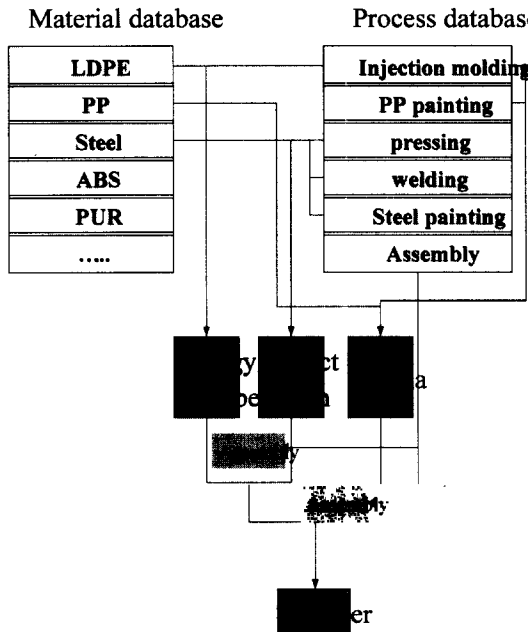


Fig. 7. Schematic diagram of establishing bumper database

이와 같은 각 재질과 공정들은 일반적으로 많이

사용되는 재질과 공정이므로 2.2절에서 설명한 바와 같이 대표재질 및 공정으로 설정되어 Fig. 2의 재질 데이터베이스와 공정데이터베이스에 이미 구축되어 있다. Fig. 7은 PP범퍼의 목록작성을 위해 재질 데이터베이스로부터 LDPE, PP, steel에 대한 데이터를 불러오고, 공정데이터베이스로부터 injection molding, PP의 painting, pressing, welding, steel의 painting공정에 대한 데이터베이스를 불러온다. 이들은 각각 무게비로 환산하여 집단화 한 후에 조립에 대한 데이터를 추가하면 범퍼하나에 대한 조립까지의 전과정목록이 완성되는 것이다.

이상과 같은 방법으로 실제로 범퍼의 제조까지에 대한 전과정목록을 구축한 결과를 Table 4에 간략히 나타내었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 복잡한 가전제품이나 자동차와 같이 매우 많은 부품과 재질로 이루어진 다부품 시스템에 대하여 전과정평가를 수행할 때 실용적으로 적용할 수 있는 방안인 모듈화 접근방법을 제안하였다. 이 방법은 부품, 물질, 공정의 모듈화를 통하여 복잡한 시스템을 단순화시키고 대표적인 물질이나 공정에 대한 데이터베이스만 구축하여 전체 전과정목록을 유도하는 것이다. 즉, 극히 일부의 주요부품에 대한 전과정평가를 통하여 전체시스템에 대한 종합적인 결과를 얻게 된다. 이 방법은 다부품 시스템에 대하여 사용된 bottom-up 방식인 모자이크식 접근에 비해 시간과 비용을 크게 절약할 수 있고 top-down방식의 상세함과 정확성이 떨어지는 단점도 보완이 가능하다. 따라서 제품의 설계단계에서 적용하여 최종제품이 미칠 수 있는 잠재적인 환경영향을 효율적으로 평가 및 예상할 수 있을 뿐 아니라 개선도 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) M. A. Curran, Environmental Life Cycle Assessment, McGraw-Hill, New York, 1996.
- 2) J. Fiksel, "Design for Environment",

- McGraw-Hill, New York, 1996.
- 3) International Standard Organization, Life Cycle Assessment - Principles and framework, ISO 14040, 1997.
 - 4) International Standard Organization, Life Cycle Assessment - Goal and scope definition and inventory analysis, ISO/FDIS 14041, 1998.
 - 5) C. Kaniut, H. Cetiner, and J. Franzeck, Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference Life Cycle Management and Assessment(part 1), Society of Automobile Engineers, Inc., 55(1997).
 - 6) K. Saur, P. Eyerer, and J. Hesselbach, Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference Design for the Environment, Recycling and Environmental Impact(part 2), Society of Automobile Engineers, Inc., 1(1997).
 - 7) G. A. Keoleian, K. Kar, M. M. Manion, and J. W. Bulkley, "Industrial Ecology for the Automobile : A Life Cycle Perspective", Society of Automobile Engineers, Inc., Warrendale, 1997.
 - 8) M. Almemark, C. Usarsson, Camilla Spännar and L.-G. Lindfors, Manual for calculating Type III ecoprofiles, Swedish Environmental Research Institute, 1997