

개념설계 단계에서의 제품 라이프사이클 가치분석을 위한 프레임워크 개발¹⁾

A Framework for Analyzing the Life Cycle Value of a Product in Conceptual Design

곽민정¹, 홍유석¹, 조남욱²

¹ 서울대학교 산업공학과 (minjung82@hanafos.com, yhong@snu.ac.kr)

² 서울산업대학교 산업정보시스템공학과 (nwcho@snut.ac.kr)

Abstract

제품의 개념설계 단계는 제품의 주요특성과 라이프사이클 전반에서 발생하는 Life Cycle Cost(LCC)의 대부분을 결정하는 중요한 단계이다. 이에 따라 개념설계 단계에서의 Life Cycle Cost Analysis(LCCA)의 필요성이 강조되고 있다. 그러나 LCCA는 제품의 경제성과 사용성, 친환경성 사이에서의 합리적인 의사결정을 지원하기에 한계가 있다.

본 논문은 개념설계 단계에서의 새로운 의사결정지원도구로서 기업 관점의 제품 라이프사이클 기업 가치(LCCV)분석 프레임워크를 제안하고, 그 핵심도체인 기업 비용 예측모델(LCCCEM)을 소개한다. 이 프레임워크를 통해 기업이 제품의 경제성과 시장성, 친환경성 사이에서 보다 전략적이고 합리적인 의사결정을 수행하도록 지원할 수 있을 것으로 기대한다.

Keyword: Life Cycle Cost, Life Cycle Value(LCV)

1. 서론

제품의 개념설계(Conceptual Design) 단계는 제품의 개념(Concept)과 아키텍처(Architecture) 설계 및 구성요소의 배치(Configuration)가 이루어지는 단계이다. 따라서 제품의 기능(Function)과 형태(Form), 물질, 구조(Structure) 등 제품의 주요한 특성이 대부분 개념설계 단계에서 결정된다[Otto et al., 2001][Pugh, 1991][Ulrich et al., 2003][Eggert, 2005]. 제품의 특성은 제품의 라이프사이클(Life Cycle)과 제품이 라이프사이클 상에서 유발하는 비용(Cost)을 결정하기 때문에 개념설계 단계는 제품의 라이프사이클 관리를 위한 가장 효과적인 단계이다.

그러나 제품의 라이프사이클은 관리가 쉽지 않다. 기업과 소비자, 사회가 제품을 둘러싸고 복잡한 이해관계에 얽혀있기 때문이다. 제품은 라이프사이클 상에서 기업과 소비자, 사회에 각기 다른 비용, Life Cycle Cost(LCC)를 야기한다. LCC는 비용부담

의 주체에 따라 기업 비용(Company Cost), 사용자 비용(User Cost), 사회 비용(Society Cost)으로 구분되고, 라이프사이클 단계에 따라 설계(Design)·생산(Production)·사용(Usage)·폐기(Retirement) 비용으로 구분된다[Asiedu et al., 1998][Eggert, 2005]. 그런데 이들 비용 간에는 다양한 수평적·수직적 상반관계(Trade-off)가 존재한다.

수평적 상반관계는 기업 비용, 사용자 비용, 사회 비용 사이의 상반관계를 의미한다. 예를 들어 친환경 소재를 사용한 제품 A는 일반 제품 B에 비해 높은 생산비용을 필요로 하지만, 환경오염이 적기 때문에 B에 비해 더 낮은 사회적 비용을 야기한다. 한편 높은 생산비용은 제품 가격의 상승을 일으키고, 그 결과 소비자는 제품 구매 시 더 높은 비용을 부담하게 된다. 이 경우 기업의 생산비용과 사회적 비용, 사용자의 구매비용 사이에 상반관계가 존재한다. 이러한 수평적 상반관계는 기업, 소비자, 사회가 서로 다른 이해구조를 기반으로 동일한 제품을 달리 평가함을 의미한다. 그 결과 기업은 경제성을, 소비자는 시장성을, 사회는 친환경성을 강조하면서 제품의 경제성, 시장성, 친환경성 사이에 갈등이 발생한다.

수직적 상반관계는 라이프사이클 단계별 비용 간의 상반관계를 의미한다. 앞의 예에서 친환경 소재를 사용한 제품 A는 생산단계에서 높은 비용을 필요로 하지만, 제품 폐기 단계에서는 재활용이 용이하여 낮은 비용을 유발한다. 이는 생산 비용과 폐기 비용 간의 상반관계가 존재하는 경우이다. 비용 부담의 주체가 동일함에도 불구하고 제품 특성이 비용 간의 상반관계를 가져오기 때문에 의사결정에서 갈등이 심화된다.

따라서 성공적인 제품 개발을 위해서는 개념설계 단계에서 제품의 특성이 야기하는 라이프사이클 상의 수평적·수직적 갈등구조를 파악하고, 이를 효과적으로 관리함으로써 제품의 경제성, 시장성, 친환경성을 조화롭게 증대시킬 수 있는 방법론이 필요하다. 방법론은 비용의 개별적 평가 이외에 비용 형성의 원인이나 비용 간의 관계에 대한 정보를 줄 수 있어야 한다. 즉 LCC를 바라보는 통합적, 총체적인 시각이 기반 되어야 하며, 제품의 특성과 LCC 사이의 연관관계를 규명함으로써 제품 설계 개선 방향을 제시할 수 있어야 한다.

본 연구는 개념설계 단계에서 제품의 특성이 야

1) "이 논문은 2005년도 정부재원(협동연구지원)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2005-D00360)"

기하는 라이프사이클 상의 수평적·수직적 갈등구조를 효과적으로 관리할 수 있는 새로운 방법론 개발을 목적으로 한다. 새로운 방법론은 다음의 두 가지 특징을 지닌다.

첫째, 비용과 편익(Benefit)으로부터 도출되는 가치(Value) 개념을 도입하여 갈등구조 해결의 실마리를 제공한다. 가치 개념의 도입은 비용과 편익을 통합적인 시각에서 바라볼 수 있도록 지원한다. 그 결과 제품이 기업, 소비자, 사회에 미치는 영향을 보다 장기적 관점에서 합리적으로 파악할 수 있다.

둘째, 제품의 특성과 제품이 라이프사이클에서 주는 가치 사이의 연관관계를 밝힌다. 제품의 특성이 비용, 편익을 어떻게 형성하는지를 규명함으로써, 갈등구조의 원인이 되는 제품 특성을 찾을 수 있다. 또한 고비용, 저가치의 원인이 되는 제품 특성 개선을 유인한다.

본 논문에서는 기업, 소비자, 사회가 라이프사이클 상에서 제품으로부터 얻는 총체적 가치를 라이프사이클 가치(Life Cycle Value, LCV)라고 정의한다. LCV는 가치 획득의 주체가 누구인지에 따라 라이프사이클 기업 가치(Life Cycle Company Value, LCCV), 라이프사이클 소비자 가치(Life Cycle User Value, LCUV), 라이프사이클 사회 가치(Life Cycle Society Value, LCSV)로 구분되며, 각 주체의 비용-편익 관계로부터 도출된다.

LCCV, LCUV, LCSV의 균형적인 증대는 제품의 경제성과 시장성, 친환경성의 조화로운 증대를 의미한다. 따라서 개념설계 단계에서 제품의 예상 LCV를 파악하여 이를 증대시키는 동시에 LCCV, LCUV, LCSV간의 균형을 유지, 관리할 수 있는 의사결정 지원 도구, 라이프사이클 가치분석(Life Cycle Value Analysis, LCVA)을 개발하고자 한다.

본 논문에서는 연구의 첫 단계로 제품의 라이프사이클 기업가치, LCCV 분석(LCCV Analysis) 프레임워크와 그 핵심 모듈인 LCCCEM(Life Cycle Company Cost Estimation Model)을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 LCCA의 한계를 지적하고, 본 논문이 대상으로 하고 있는 LCCV 분석의 필요성과 LCCV 분석 프레임워크를 소개한다. 3장에서는 LCCCEM의 의의를 설명하고, 비용예측 방법론에 대한 기존 연구 고찰을 바탕으로 LCCCEM을 제안한다. 4장에서는 LCCCEM의 절차에 대해 생산, 사용, 폐기의 세 단계로 나누어 설명한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론과 추후 연구 방향을 정리한다.

2. LCCV 분석 프레임워크

LCCV는 기업이 라이프사이클 상에서 제품으로부터 얻을 수 있는 가치를 의미한다. 본 논문에서는 개념설계 단계에서의 합리적 의사결정 지원 도구로서 LCCV를 제안한다. LCCV는 기업 관점에서 중요한 라이프사이클 상의 비용, 편익 정보를 가공하여 가치의 형태로 제공한다. 또한 기업이 경제성과 시장성, 친환경성 사이에서 보다 효과적이고 합리적인 의사결정을 수행하도록 지원함으로써 LCCA로 대표되는 기존의 비용예측 방법론을 대체할 수 있다.

2.1 LCCA의 한계

심화되는 경쟁 속에서 살아남기 위해 기업은 비용 감소를 위한 노력을 계속해 왔다. 일반적으로 기업

은 원재료 획득이나 생산, 유통에 드는 비용 감소에 초점을 맞추어 왔다. 그러나 각종 환경규제의 등장과 사회적 인식의 변화로 제품의 친환경성에 대한 요구가 높아지면서, 기업은 라이프사이클 전반에서 발생하는 비용, 즉 LCC 감소의 필요성에 직면하였다. 기업은 기업 비용을 낮추는 동시에 제품을 소비하는 사용자 비용, 제품이 유발하는 환경 영향에 관여하는 사회 비용 역시 낮추어야 하는 부담을 안게 된 것이다[Seo et al., 2002].

제품의 초기 설계는 LCC의 70~85%를 결정한다[Rush et al., 2000][Duverlie et al., 1999][Seo et al., 2002]. 설계자는 개념설계 단계에서 설계 대안이 LCC에 미치는 영향을 예측하고 이를 의사결정에 반영함으로써 LCC를 효과적으로 감소시킬 수 있다. 제품 개발이 진행될수록 설계 수정 시 발생하는 비용이 급격히 증가하기 때문에 개념설계 단계에서의 의사결정이 매우 중요하다. 따라서 개념설계 단계에서 LCC를 예측하고, 그 결과를 설계에 반영하기 위한 LCCA(Life Cycle Cost Analysis)의 중요성이 강조되고 있다.

그러나 LCCA는 기업을 둘러싼 의사결정 문제를 다루기에 적합하지 않다. LCCA는 기업 비용, 사용자 비용, 사회 비용과 설계, 생산, 사용, 폐기 비용 등을 개별적 관점에서 접근한다. 즉 비용 간의 유기적 관계에 대한 분석이 없기 때문에 비용의 개별적 예측은 가능할지 모르나, 비용 간의 수평적·수직적 갈등구조의 관리는 불가능하다. 특히 기업은 영리를 목적으로 하는 주체이기 때문에 높은 기업 비용을 감수하면서 사용자 비용이나 사회 비용을 낮추려 하지 않는다. 즉 객관적인 입장에서는 LCC를 낮추는 것이 바람직하지만, 기업은 기업 비용의 감소, 제품의 경제성에 치우치기 쉽다. 더 큰 문제는 낮은 기업 비용이 기업의 입장에서 최적이 아닐 가능성이 높다는 점이다. 예를 들어 생산비용은 비싸지만 연비가 높은 차를 생산한다고 하자. 기업은 일차적으로 높은 기업 비용을 부담해야 하지만 매출증대나 친환경 제품생산에 대한 세제혜택 등의 파급효과를 누릴 수 있다. 궁극적으로 기업이 제품으로부터 궁극적으로 얻을 수 있는 이익이 증대된 것이다. 반대로 생산비용은 낮지만, 제품의 매출 하락과 환경오염 과징금 부과 등으로 인해 궁극적으로 손해가 발생할 수 있다.

하지만 현재의 LCCA는 기업이 필요로 하는, 파급효과나 이익에 대한 통찰을 제공하지 못하기 때문에 이러한 상황을 설명하기에 부족하다. 따라서 단편적, 개별적 비용 중심의 LCCA적 접근은 기업의 의사결정에 그대로 적용하기에 한계가 있다.

2.2 LCCV 분석의 필요성

LCCA는 기업이 경제성과 시장성, 친환경성 사이의 균형을 유지하기 위한 기반정보를 충분히 제공하지 못한다. 그렇다면 복잡한 이해관계 속에서 어떻게 기업, 소비자, 사회가 모두 만족할 수 있는 의사결정을 내릴 수 있을 것인가?

이를 위해 비용과 편익(Benefit)으로부터 도출되는 가치(Value) 개념의 도입을 새로운 대안으로 제안한다. 친환경소재를 사용한 제품 A와 일반 제품 B의 예를 다시 생각해 보자. 제품 A는 제품 B에 비해 친환경적이므로 사회 관점에서의 가치가 더 높다. 소비자는 제품 A에 더 높은 비용을 지불하지만, 친환경 제품을 사용한다는 점에서 더 큰 만족을 얻을 수 있다. 만약 비용 대비 만족도가 높으면,

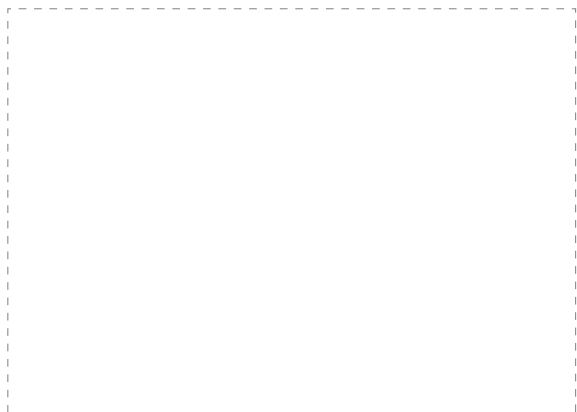
소비자가 A로부터 얻는 가치는 B에 비해 더 크다. 기업의 경우 제품 A는 더 높은 비용을 초래하지만, 환경오염 부담금의 감소나 환경규제 위반 시 지불해야 하는 과징금 감소, 제품의 친환경성으로 인한 제품 및 기업의 인지도 상승, 매출의 증가 등을 통해 기업이 느끼는 가치를 높이게 된다. 비용과 편익의 총체인 가치 측면에서 분석한 결과, 기업과 소비자, 사회가 동시에 가치증대를 누릴 수 있는 가능성이 드러난다.

이처럼 가치 개념을 도입할 경우, 기업과 소비자, 사회가 동시에 만족할 수 있는 의사결정이 보다 용이하다. 따라서 비용만을 고려한 LCCA의 경우와 달리 갈등구조의 통합적 분석과 관리가 가능하다. 따라서 다음 절에서는 기업이 제품의 경제성과 시장성, 친환경성을 반영하여 합리적 의사결정을 할 수 있도록 지원하는 도구, LCCV 프레임워크를 제안한다. LCCV는 라이프사이클 상에서 발생하는 기업의 비용(Life Cycle Company Cost, LCCC)과, 제품이 소비자, 사회에 미치는 영향으로 인해 기업에 돌아오는 과급효과를 통합적으로 고려하여 기업이 제품을 통해 궁극적으로 얻을 수 있는 가치를 평가한다. 그러므로 LCCV가 높다는 것은 기업이 제품의 경제성과 시장성, 친환경성 사이에서 균형을 잘 유지하며 자신의 목적인 영리를 효과적으로 추구할 수 있다는 의미이다. 그리고 이 때 기업의 목적은 비용의 감소가 아니라 가치의 증대가 되어야 한다.

2.3 LCCV 분석의 프레임워크

LCCV 분석은 제품이 라이프사이클 상에서 창출하는 기업 관점의 가치를 개념설계 단계에서 분석한다. LCCV는 가치의 양과 가치의 구조, 가치와 제품 특성 사이의 관계를 밝히는 데 목적이 있다.

- 가치의 양: 기업이 제품 대안으로부터 얼마만큼의 가치를 누릴 수 있는가를 의미한다. 기업의 비용과 편익의 예측치를 통해 결정된다.
- 가치의 구조: 제품 대안이 기업, 소비자, 사회와의 관계에서 어떤 비용과 편익을 창출하였는지, 가치가 어떠한 비용과 편익으로 구성되어 있는지를 의미한다.
- 가치와 제품 특성 사이의 관계: 제품 대안과 비용, 편익 사이의 인과관계를 의미한다. 이는 제품 설계의 개선을 통해 LCCV를 관리하고자 할 때 필수적인 정보이다.



<Figure 1> Life Cycle Company Value

<Figure 1>은 이러한 가정에 따라 LCCV 분석의 프레임워크를 도시하고 있다. LCCV는 다음 가정에 따라 기업이 라이프사이클 전반에서 제품에 투자하는 기업비용과 수익, 과징금 혹은 혜택의 결합으로 정의된다.

- 제품의 기능적 특성과 제품이 유발하는 사용자 비용은 제품에 대한 사용자의 만족도에 영향을 줌으로써 제품 구매를 결정하고, 그 결과 기업의 수익(Revenue)이 발생한다.
- 제품의 환경적 특성과 제품이 유발하는 사회 비용은 물질의 Input/Output에 따른 환경영향 정도를 결정하고, 그 결과 기업에 과징금(Penalty) 또는 각종 혜택(Benefit, Advantage)이 부과된다.

LCCV 분석은 라이프사이클 전반을 다루는 장기적 관점의 분석이며, 제품 대안의 수익성과 친환경성, 나아가 지속가능성(Sustainability)을 평가하는 방법이 될 수 있다. 따라서 개념설계 단계에서의 의사결정, 대표적으로 제품 대안의 평가·선정에 활용할 수 있다. 특히 LCCV는 기업의 관점에서 제품 대안의 가치를 평가하는 동시에, 경제성, 시장성, 친환경성 사이의 합리적 의사결정을 유도한다는 데 의의가 있다. LCCV 분석을 통해 경제성과 시장성, 친환경성을 균형있게 추구하는 것이 경제성만을 강조하는 것보다 궁극적으로 기업에 더 이익이 됨을 보여줄 수 있다. 그 결과 지속가능한 제품개발에 대한 기업의 활발한 참여, 개선 노력을 이끌어낼 수 있다.

3. LCCCEM 제안

이 장에서는 LCCV의 구조에서 제품과 기업 간의 관계에 초점을 맞추고, 생산-사용-폐기로 이루어지는 라이프사이클에서의 기업 비용 예측모델, LCCCEM을 제안한다. LCCCEM은 개념설계 단계에서의 제품 대안 평가 및 선정에의 활용을 목적으로 한다.

3.1 LCCCEM의 의의

LCCCEM은 개념설계 단계에서 제품 설계 대안의 기업 비용 예측을 목적으로 한다. 단일 제품(Single Product)에 대한 비용 예측을 수행하며, 비용 예측 및 관리의 범위를 벗어나는 설계 단계에 대한 비용분석은 제외한다.

Layer et al.(2002)은 비용평가모델이 갖추어야 할 요건으로 정확성(Accuracy), 비용구조의 투명성(Transparent description of the cost structure), 설계와의 동시성(Design-Concurrent Use), 변동에의 적응성(Dynamic adaptivity), 복잡한 제품에의 적용(Calculation of complex parts)을 들고 있다. 개념설계 단계에서의 LCCCEM 역시 이러한 요건을 갖추어야 한다. 특히 제품의 특성, 즉 설계요소와 비용 간의 관계에 대한 가치 있는 정보를 설계자에게 제공할 수 있어야 한다[Seo et al., 2002]. 이는 비용구조의 투명성(Transparency), 설계와의 동시성과 연관된 과정이라 할 수 있다. 개발된 LCCCEM은 기업 비용의 실체, 즉 제품과 비용 사이의 연결고리를 밝힘으로써 높은 비용, 궁극적으로 낮은 가치를 초래하는 설계 대안의 문제점을 파악하여 개선하는 기반이 된다. 또한 추후 다른 제품의 설계 시 활용할 수 있는 정보나 직관을 줄 수 있다.

이미 전통적인 비용예측 방법론이나 LCCA와 같은 비용예측 방법론이 다수 존재하지만, 생산, 혹

은 폐기와 같은 특정 라이프사이클의 비용을 단편적으로 예측한 경우가 대부분이다. 또한 제품 설계 요소와 비용 간의 관계를 간과하고 있기 때문에, 통합적 시각에서 제품을 기반으로 기업의 LCC를 예측하고자 하는 LCCCEM의 목적에 부합하지 않는다. 다음 절에서는 기존의 비용예측 방법론에 대한 고찰을 통해 각 방법론의 장단점을 논의하고, LCCCEM의 개발에 반영한다.

3.2 비용예측 방법론의 고찰

일반적인 비용예측 방법론으로 다음 다섯 가지 방법론을 들 수 있다.

- **Intuitive Method:** 전문가의 경험과 지식에 의존한 비용예측 방법론
- **Parametric Method:** 대상을 대표하는 파라미터 값을 찾아 파라미터와 비용 간의 관계를 통해 비용을 예측하는 방법론
- **Analytical Method:** 비용분석 대상이 거치는 프로세스를 하위 작업단위로 세분하여 대상의 비용을 예측하는 방법론
- **Analogical Method:** 제품이나 시스템의 유사함을 바탕으로 비용을 예측하는 방법론
- **Feature Based Costing:** 제품의 고유 특성, 피처(Feature)를 바탕으로 제품을 분석하여 비용을 예측하는 방법론

Intuitive Method는 대략적인 비용 정보를 신속히 제공한다. 그러나 비용예측이 주관적이라는 단점을 지닌다[Rush et al., 2000].

Parametric Method는 과거 데이터와 관찰 경험을 바탕으로 제품의 주요특성, 파라미터(Parameter)와 비용 간의 관계식, CER(Cost Estimation Relationship)을 도출하여 비용을 예측한다[Duverlie et al., 1999]. 성공적인 비용예측을 위해서는 정교한 가설 수립이 선행되어야 하고, 많은 데이터를 필요로 한다[Rush et al., 2000]. 회귀분석(Regression Analysis)이나 최적화기법(Optimization Techniques), 신경망(Neural Network)을 활용한 비용예측[Seo et al., 2002]이 이에 해당한다.

Analytical Method는 제품 비용에 관계되는 프로세스를 단위작업으로 세분하고, 단위작업을 수행하는 데 소요되는 작업시간이나 작업률, 재료량, 가격 등의 정보를 바탕으로 비용을 예측하는 방법론이다. 정확한 정보를 얻을 수 있지만, 제품이나 프로세스에 대한 세밀한 정보를 요하고, 시간과 비용이 많이 든다는 단점이 있다. Detailed Model로도 불린다[Seo et al., 2002][Asiedu et al., 1998].

Analogical Method는 기존의 유사한 제품과 비용을 예측하고자 하는 대상 제품 사이의 비슷한 정도, 혹은 다른 정도를 바탕으로 비용을 예측하는 방법론이다. 이 방법론은 제품 간의 비슷함과 차이를 얼마나 정확히 규명하는가에 따라 그 효과성이 결정된다. 그러나 Analogical Method는 유사성에 대한 많은 판단을 요하는 것이 단점이다[Layer et al., 2002][Seo et al., 2002][Asiedu et al., 1998].

Feature Based Costing은 제품을 피처들의 결합으로 분석하고, 각 피처에 따른 비용을 고려하여 제품의 비용을 예측하는 방법론이다. 피처는 제품을 다른 제품과 다른 사물과 뚜렷이 구별시켜 주는 독특한 성질로서 관점에 따라 다양한 정의가 가능하다. 기본적인 피처의 비용정보를 활용할 수 있다는 점이 장점이며, 피처의 정의에 대한 합의가 도출되지 않은 상황에서 일반적 방법론으로의 적용이

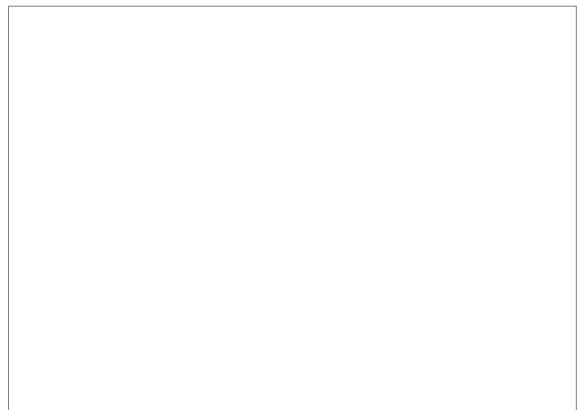
힘들다는 것이 단점이다[Rush et al., 2000]. Feature Based Costing은 CAD/CAM 기술의 발달로 제조비용예측 분야에서 활발한 연구가 이루어져 왔다. Leibl et al.(1999)와 Ou-Yang et al.(1997)은 제조비용(Manufacturing Cost), Feng et al.(1996)과 Jung(2002)는 기계가공(Machining) 비용, Tang et al.(2004)는 금속 프레스 가공(Sheet Metal Stamping)에 초점을 맞추어 Feature Based Costing을 적용하였다. 또한 Tseng et al.(2000)은 기계가공 비용을 평가하기 위해 피처를 기반으로 한 Activity Based Costing을 제안하였다.

개념설계 단계는 정보의 양이 적고 불확실성과 변동성이 높은 동시에 정확하며 빠른 비용 예측을 요하는 단계이다. 따라서 설계에 대한 구체적인 정보, 많은 데이터 수집을 필요로 하는 Analytical Method는 그대로 적용하기에 적합하지 않다[Duverlie et al., 1999]. Intuitive Method는 전문가 의존도가 높고 예측의 체계성이 부족하며, 복잡한 제품에 적용하기에 한계가 있다. 또한 Parametric Method는 재료비와 같은 단순한 비용예측에는 효율적이지만[Duverlie et al.1999], 복잡한 제품의 LCC 예측에는 적합하지 않다. 마지막으로 제품과 비용 간의 연관관계를 살펴보면 Analogical Method가 제품 간의 유사함이라는 상대적 정보를 사용하는 것과 달리 Feature Based Costing은 제품의 절대적 특성을 매개로 제품과 비용의 연관관계를 설명하고 있다. 이는 LCCCEM의 목적에 부합하는 특성이다. 따라서 LCCCEM에 적합한 비용예측 방법론은 Feature Based Costing이라는 결론을 내릴 수 있다. 그러나 Duverlie et al.(1999)이 지적한 바와 같이 현실 문제를 다룰 때에는 하나의 비용예측 방법론만을 사용하기보다 여러 가지 방법론을 상황에 따라 조화롭게 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 LCCCEM은 Feature Based Costing을 기반으로 하되, 구하고자 하는 비용 특성에 맞게 다른 예측 방법론을 접목하여 사용한다.

3.3 LCCCEM의 개요

LCCCEM은 개념설계 단계에서 특정 제품 대안인 라이프사이클의 각 단계에서 유발하는 기업 비용을 예측하는 모델이다. LCCCEM의 전체적 구성은 <Figure 2>와 같다.

설계된 제품의 구조(Structure)는 생산·사용·폐기의 라이프사이클에 따라 다른 관점에서 해석되고, 해석된 구조로부터 피처가 도출된다. 제품 대안의



<Figure 2> Structure of LCCCEM

피처는 해당 단계의 비용을 결정하는 제품의 특성으로서 생산·사용·폐기 단계의 특성에 맞추어 각기 다르게 정의된다. 정의된 피처는 비용예측 방법론의 입력이 되고, 그 결과 생산비용, 사용비용, 폐기비용이 출력된다. 그러나 피처는 하나의 제품을 다른 시각에서 바라보아 도출한 개념적 요소이므로 제품을 매개로 서로 밀접한 관계를 유지하고 있다. 예를 들어 생산 단계에서의 연결 피처(Connection Feature)와 폐기 단계에서의 분해 피처(Disconnection Feature)는 개념 상 서로 다른 피처이지만, 제품에서의 실체는 하나의 파스너(Fastener)로서 동일하다. 따라서 기업 비용들은 제품의 피처를 매개로 연결되어 있으므로, 비용 간의 관계는 피처와 피처 간 관계를 통해 관리할 수 있다.

Feature Based Costing의 선행연구로서 Feng et al.(1996)의 연구를 들 수 있다. 이 연구는 기계가공 형태 피처(Machining Form Feature)와 피처 간의 관계(Relationship)를 바탕으로 기계가공 비용을 예측하고 있다. 이 논문에서 피처 간의 관계는 관계 형성이 쉽다/어렵다(Easy/Hard)를 기준으로 총 여섯 가지로 나누며, 셋업/체인지오버(Set-up/Change over)의 특성에 따라 종류가 결정된다. 따라서 기계가공 비용은 형태 피처의 가공비용과 피처 간 관계로 인한 비용, 즉 셋업/체인지오버 비용(Set-up/Change over Cost)으로 나누어진다. 셋업/체인지오버는 가공작업의 순서에 따라 달라지기 때문에 가능한 작업순서들을 그래프 형태로 표현한 뒤 최단경로모델(Shortest Path Model)을 적용하여 디스트라법(Dijkstra's algorithm)으로 최소 비용을 도출한다.

LCCCEM은 Feng et al.(1996)의 연구를 바탕으로 피처와 피처 간의 관계를 통한 비용예측을 수행한다. 비용예측은 생산·사용·폐기 단계로 나누어 수행된다. LCCCEM은 제품 대안의 평가 및 선정에의 적용을 목표로 하므로, 본 연구에서는 제품 대안 간의 간접비 차이는 없다고 가정하고, 직접비만을 예측한다.

4. LCCCEM의 절차

이 장에서는 LCCCEM의 절차를 생산단계에서의 비용 예측, 폐기단계에서의 비용 예측, 그리고 생산단계와 폐기단계의 특성을 모두 지니고 있는 사용단계에서의 비용 예측의 순으로 설명한다.

4.1 생산단계에서의 비용 예측

LCCCEM은 생산단계의 비용을 제품의 생산비용(Production Cost)과 유통비용(Distribution Cost)의 합으로 정의한다. 비용예측은 다음의 절차에 따라 수행된다.

4.1.1 제품의 구조 해석

제품을 구성요소(Component)와 구성요소 간의 결합(Connection)으로 볼 때[Ulrich et al., 2003], 제품의 구조는 <Figure 3>과 같이 조립품(Assembly), 조립부품(Subassembly), 부품(Part)의 계층구조로 표현할 수 있다. 부품은 동일한 원재료로 구성된 최하위 구성요소이다. 생산 관점에서 바라본 제품 구조는 제품의 자재소요명세서(Bill of Material)와 유사하다.

4.1.2 비용의 상의하달식 추적(Top-down Tracing)

제품의 구성요소는 표준형(Standard Component)과

맞춤형(Custom Component)으로 구분할 수 있고, 표준형은 외부로부터 구매하는 표준형 구매요소(Standard Selected Component)와 기업 내외의 표준에 맞춰 직접 생산하는 표준형 생산요소(Standard Designed Component)로 구분된다. 표준형 요소와 맞춤형 요소는 그 특성에 맞게 나누어 비용예측을 수행하는 것이 효과적이다[Hicks, 2002]. 특히 표준형 요소에 대한 비용정보를 기업이 이미 보유하고 있다고 할 때, 이를 적극적으로 활용하여 비용예측 방법론의 효율을 높일 수 있다.

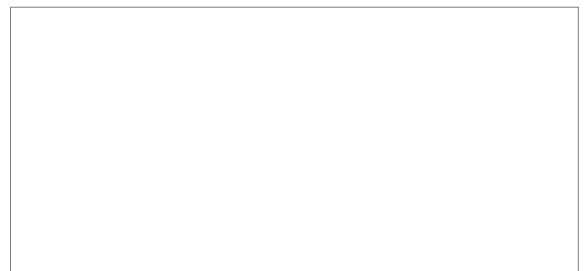
LCCCEM은 비용예측에 앞서 먼저 제품 구조에 따라 조립품, 조립부품, 부품의 순서로 생산비용을 추적한다. 예를 들어 조립부품 A, B, C로 구성된 신제품 대안을 생각해 보자. 신제품이므로 일치하는 비용정보가 없기 때문에 하위 조립부품을 살핀다. 조립부품 A는 외부로부터 구매하는 요소이고, 조립부품 B는 이미 동일한 개체를 생산한 경험이 있어 비용정보가 명확하며, 조립부품 C는 비용정보가 없다고 하자. A와 B의 경우 그 비용정보를 기록하고 하위 구조를 비용예측 대상에서 제외시킨다. C의 경우 하위 부품 수준에서 동일한 과정에 따라 비용을 추적을 반복한다.

4.1.3 비용의 하의상달식 예측(Bottom-up Estimation)

비용의 하의상달식 예측은 제품의 구조를 바탕으로 단위부품의 생산비용 예측, 조립부품의 생산비용 예측, 조립품의 생산비용 예측, 조립품의 유통비용 예측의 순으로 수행된다. 각 단계별로 피처를 도출하고, 피처 간의 관계를 고려하여 비용을 예측한다. 본 논문에서는 피처를 통한 비용과 제품 간의 관계 형성이 핵심이며, 특정 제품이 어떠한 피처로 구성되어 있는지 판단하는 것은 또 다른 문제이다. 따라서 피처의 인지(Feature Recognition)는 본 논문에서 논의하지 않는다.

• 부품의 생산비용 예측

LCCCEM은 하나의 부품을 기본 피처(Basic Feature, BF)와 부가 피처(Sub-Feature, SF), 마무리 피처(Finish Feature, FF)의 결합으로 표현한다. BF는 기본적인 모양, 전체적인 형태를 의미한다. SF는 BF에 첨가 또는 제거되는 기하학적 피처를 의미하며, 기계가공작업(Machining)을 통해 형성되는 홀(Hole)이나 슬롯(Slot) 등이 이에 해당한다. FF는 형상이 완성된 부품의 도색(Painting), 광택(Polishing) 등의 마무리 작업정보를 포함한 피처로 표면처리의 피처를 의미한다. 따라서 하나의 부품을 생산하는 과정은 원재료 상에 BF, SF, FF를 순차적으로 구현하는 과정이다. BF, SF, FF는 피처의 종류(Type), 원재료 물질(Material), 크기(Size), 요구되는 정확도(Accuracy Requirements), 복잡도(Complexity), 주변 피처와의



<Figure 3> Example of Product Structure Representation for Production Cost Estimation

거리(Spacing between features)에 따라 결정된다 [Tang et al., 2004]. 이처럼 피치가 도출되면, 피치와 피치 간의 관계에 따라 부품의 생산비용을 예측할 수 있다.

부품의 생산비용은 재료비(Material Cost)와 피처 가공비(Feature Processing Cost)의 합이다. 재료비는 일반적으로 부품의 무게와 해당 물질의 단위비용의 곱으로 표현되며 [Tang et al., 2004], Parametric Method를 사용하여 구할 수도 있다.

피처 가공비는 단일 피처의 가공에 대한 피처 구현비용(Feature Realization Cost)과 피처 간 관계를 반영하는 피처 간 비용(Inter-Feature Cost)의 합으로 표현되며, 피처 간 비용은 피처 구현 사이에 발생하는 셋업/체인지오버 비용을 의미한다. 이때 특정 피처의 구현비용과 특정 피처간의 셋업/체인지오버 비용 정보가 주어지면, 최단경로모형을 적용할 수 있다.

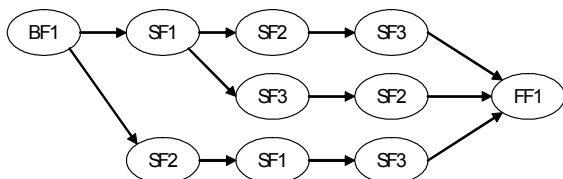
예를 들어 BF1과 SF1, SF2, SF3, FF1의 피처를 지닌 부품 X의 경우를 생각해 보자. 이때 BF, SF, FF 순으로 구현이 이루어지고, 피처의 특성상 SF1은 SF2나 SF3보다 먼저 구현되어야 한다고 가정하자. 피처의 구현을 마디(Node)로 표현하면, 피처 구현의 순서에 따라 실현가능한(Feasible) 모든 프로세스를 <Figure 4>와 같이 그래프로 나타낼 수 있다. 이때 화살표는 피처 구현 사이에 발생하는 셋업/체인지오버를 의미한다. 따라서 화살표에 셋업/체인지오버 비용을 부여하여 최단경로모형을 적용하면 셋업/체인지오버 최저비용을 계산할 수 있다. 마지막으로 이 값을 피처 구현비용과 합치면 피처 가공비가 도출된다.

• 조립부품의 생산비용 예측

조립부품은 부품 간의 결합을 통해 생산된다. 따라서 조립부품의 생산비용 예측을 위해 도출되는 피처는 부품 피처(Product Feature, PF)와 연결 피처(Connection Feature, CF)이다. PF는 조립부품의 하위에 존재하는 부품들의 생산비용 정보를 담고 있으며, CF는 부품 사이의 결합, 파스너에 대한 정보를 제공한다. PF는 부품 생산비용 예측 단계에서 자동적으로 결정되고, CF는 결합종류(Joining Method), 결합방향(Joining Direction), 결합물질(Material), 결합강도(Strength) 등에 따라 결정된다.

조립부품의 생산비용은 하위 부품의 생산비용 총합과 부품 간의 결합비용(Part Assembly Cost)의 합으로 나타난다. 부품 간의 결합비용은 단일 CF를 생성하는 데 드는 결합 생성비용(Connection Generation Cost)과 CF 간의 관계에서 발생하는 결합 간 비용(Inter-Connection cost)의 합이며, 결합 간 비용은 CF 생성 사이에서 발생하는 셋업/체인지오버 비용을 의미한다. PF와 CF가 규명되고, 결합 생성비용과 특정 결합 사이의 셋업/체인지오버 비용이 주어지면, 최단거리모형을 적용하여 조립부품

EX) PART X = { BF1, SF1, SF2, SF3, FF1 }



<Figure 4> Graph for Part Production Cost Estimation

생산비용을 구할 수 있다.

<Figure 5>는 다섯 개 부품의 결합으로 이루어진 조립부품 X에 대한 비용예측 과정을 보여주고 있다. 결합 순서에 따라 실현가능한 프로세스가 여러 가지가 가능하며, 이는 부품을 마디로 하는 그래프로 표현할 수 있다. 이 때 화살표는 부품 간의 결합을 의미한다. 결합 간 비용을 구하기 위해서는 이 그래프를 결합 중심으로 변환하는 작업이 필요하다. 따라서 CF를 마디로, CF간 관계를 화살표로 표시하여 그래프를 도출한다. 그래프 작성 시 필요에 따라 가상적인 마디를 추가할 수 있다. 이 경우 최소경로문제를 형성하기 위해 시작(Base)과 끝(End) 마디를 추가하였다.

• 조립품의 생산비용 예측

조립품은 조립부품 간의 결합, 또는 조립부품과 부품 간의 결합을 통해 생산된다. 따라서 조립품의 생산비용 예측을 위해 도출되는 피처는 조립부품 피처(Subassembly Feature, SAF)와 PF, CF이다. 조립부품 피처는 전 단계에서 구한 조립부품의 생산비용을 의미한다.

조립품의 비용예측 절차는 조립부품의 경우와 유사하다. 조립품의 생산비용은 조립부품 혹은 부품의 생산비용(Subassembly Production Cost or Part Production Cost) 총합과 이들 간의 결합 비용(Subassembly Assembly Cost or Part Assembly Cost)으로 나타나며, 결합 비용은 조립부품의 경우와 마찬가지로 결합 생성비용과 결합 간 비용으로 나뉜다.

• 조립품의 유통비용 예측

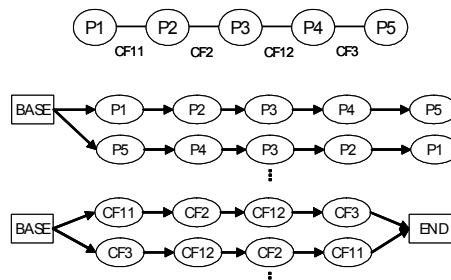
조립품의 유통비용을 결정하는 핵심요소로 조립품의 무게와 부피를 들 수 있다. 제품이 특별한 주의를 요하는 경우에는 추가비용을 조래하므로 취급요령 역시 중요한 비용요소가 된다. 유통비용은 제품의 특징에 따라 핵심 비용요소를 파악하여 재료비의 경우처럼 Parametric Method를 사용할 수 있다. 또한 유사한 제품을 유통한 경험이 있는 경우 Analogical Method도 효과적으로 적용할 수 있다.

4.2 폐기단계에서의 비용 예측

폐기(Retirement) 단계는 기업이 제품의 수명주기 끝(End-of-Life)에서 제품을 분해(Disassembly)한 뒤, 분해된 구성요소 각각에 대해 재사용·재활용·재제조·폐기(Disposal) 등의 EOL 처리(End-of-Life Option Processing)를 수행하는 과정이다.

폐기단계의 비용(Retirement Cost)은 회수비용(Take-back Cost)과 분해비용(Disassembly Cost), EOL 처리비용(EOL Option Processing Cost)을 포함한다.

EX) SUBASSEMBLY X = { PF1, PF2, PF3, PF4, PF5, CF11, CF2, CF12, CF3 }



<Figure 5> Subassembly Production Cost Estimation



<Figure 6> Product Structure Representation for Retirement Cost Estimation

또한 EOL 처리를 통해 얻어지는 이득(Salvage Profit)을 마이너스 비용으로 포함한다. 이 때 회수 비용과 EOL 처리 비용 및 이득은 Parametric Method나 Analogical Method를 사용하여 분석이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 분해 비용만을 다룬다. 분해비용 예측은 다음의 절차에 따라 수행된다.

4.2.1 제품의 구조 해석: Disassembly Tree 생성
LCCCEM은 수명주기 끝에서 동시에 동일한 방법으로 처리되는 단위를 EOL 유닛(EOL-Unit)으로 정의한다. 일반적으로 기업은 제품에 대한 EOL 계획을 가지고 있다. 따라서 LCCCEM은 기업이 이미 EOL 유닛과 각 유닛의 EOL 처리대안에 대한 정보를 가지고 있다고 가정한다. 따라서 이 단계에서 필요한 제품의 구조 정보는 <Figure 6>과 같다.

이러한 제품 구조는 EOL 유닛을 최하위 구성 요소로 두고, 기존의 분해 관련 연구를 적용함으로써 얻을 수 있다. 분해 관점에서의 제품 구조는 분해 순서에 대한 연구에서 주로 다루어져 왔다 [Lambert,2005][Lambert, 2003][Tang et al., 2000]. Kuo et al.(2000)은 제품 구조를 표현하는 방법으로 Disassembly Tree를 사용한다. 전자기계 제품의 분해를 위한 그래프 기반의 휴리스틱 접근을 제안하는 이 연구에서, 제품은 Modular Disassembly를 가정한 Disassembly Tree 형태로 표현된다. Disassembly Tree는 분해 관점에서 제품이 어떠한 구조를 이루고 있는지 계층적으로 보여줄 뿐 아니라, 빠르고 쉬운 분석이 가능하다는 장점을 지닌다. 특히 Disassembly Tree는 가능한 분해 프로세스와 그 순서를 분석하는 기반정보 역할을 수행할 수 있다. 따라서 LCCCEM은 Modular Disassembly를 가정하고, Disassembly Tree를 작성함으로써 제품의 분해 구조를 파악한다. 본 논문에서는 Kuo et al.(2000)이 제시한 Disassembly Tree를 대상으로 분해 비용 예측을 수행한다.

4.2.2 분해비용 예측

분해는 생산단계에서 형성된 결합관계를 분리하는 과정으로 분리의 순차적 수행으로 이루어진다. 따라서 이 단계에서 분해비용을 결정하는 제품의 피쳐는 EOL 유닛 간 결합의 분리 정보를 제공하는 분리 피쳐(Disconnection Feature, DF)이다. Kondo et al.(2003)은 제품이 사용된 기간이 분해비용에 영향을 미친다는 것을 보였다. 따라서 DF는 생산단계에서 정의한 CF의 결정 요소와 제품이 사용된 기간에 따라 결정된다.

분해비용은 DF를 생성하는 결합 분리 비용(Disconnection Generation Cost)과 DF 간의 관계로 인한 결합 분리 간 비용(Inter-Disconnection Cost), 즉 DF 생성작업 사이에 발생하는 셋업/체인지오버 비용의 합으로 이루어진다.

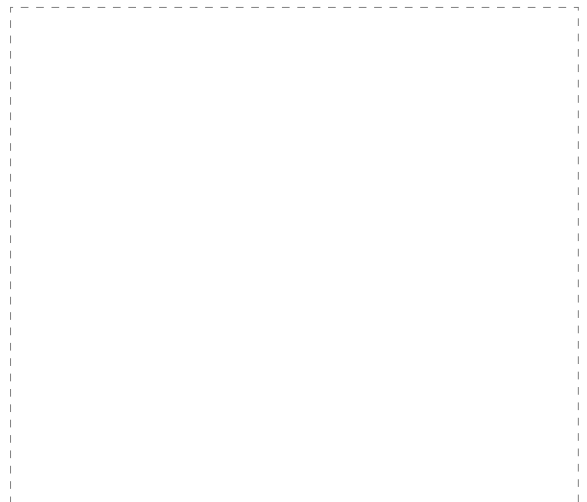
LCCCEM은 Disassembly Tree를 기반으로 실현 가능한 분해 프로세스 순서를 도출한다. 이 때 분해는 Disassembly Tree 상의 레벨별로 이루어진다고 가정한다. 각 레벨별로 분해순서가 도출되고, 이는 EOL 유닛을 마디로 하는 그래프로 표현할 수 있다. 이를 DF를 마디로 하는 그래프로 변환하면 최단경로모델의 적용을 통한 최저 분해비용 도출이 가능하다.

4.3 사용단계에서의 비용 예측

사용(Usage) 단계에서의 기업 비용은 제품의 수리(Maintenance) 비용이다. 기업이 제품에 대해 n년간의 A/S를 보장하였다고 가정하자. 고장난 부품은 새로운 부품으로 교체한다고 할 때, 특정 유형의 고장이 유발하는 수리비용은 고장이 발생했을 때 기업이 부담해야 하는 수리비용(Unit Cost for Maintenance)과 n년간 기대되는 고장횟수(Expected Number of Failures)의 곱으로 구할 수 있다. 본 논문은 고장의 유형과 원인, 유형별 기대고장횟수가 주어졌다고 할 때, 특정 고장 유형에 대해 기업이 부담해야 하는 수리비용의 예측에 대해 다룬다.

LCCCEM은 동시에 수리를 요하는 제품의 구성 요소들을 하나의 수리 유닛(Maintenance Unit)으로 정의한다. 제품을 수리하는 과정은 제품으로부터 수리 유닛을 분리하기 위해 선택적으로 분해(Selective Disassembly)하는 단계, 수리 유닛을 교체하는 단계, 다시 조립(Reassembly)하는 단계로 이루어진다. 따라서 수리비용은 선택적 분해비용과 교체비용, 조립비용의 합으로 구성된다.

수리비용을 결정하는 피쳐는 수리 유닛 피쳐(Maintenance Unit Feature)와 CF, DF이다. 이는 수리 비용 예측이 생산단계의 비용예측 방법론과 폐기단계의 비용예측 방법론을 동시에 적용해야 하는 문제임을 보여준다. 현재 수리비용 예측에 대한 구체적인 연구를 진행 중이다.



<Figure 7> Disassembly Tree (adopted from Kuo et al., 2000)

5. 결론

본 논문에서는 기업, 소비자, 사회가 라이프사이클 상에서 제품으로부터 얻는 총체적 가치를 라이프사이클 가치(Life Cycle Value, LCV)라고 정의하고, 이중 기업 관점의 제품 라이프사이클 가치, LCCV 분석 프레임워크와 그 핵심 모듈인 LCCCEM(Life Cycle Company Cost Estimation Model)을 소개하였다.

LCCV는 제품이 기업에 미치는 영향을 통합적인 시각에서 예측하는 데 의의가 있으며, 제품의 경제성, 시장성, 친환경성의 조화로운 증대를 위한 직관을 제공한다는 점에서 기업의 전략적이고 합리적인 의사결정에 효과적이다. 특히 개념설계 단계에서 제품 대안 평가 및 선정, 제품 설계 개선 등에 활용될 수 있다.

앞으로 LCCCEM의 정교성과 완전성을 높이고, 사례분석을 통해 실제 상황에의 효율적·효과적 적용을 검증하는 연구가 필요하다. 또한 LCCV 분석을 위해 제품을 매개로 형성되어 있는 기업과 소비자, 기업과 사회 간의 관계를 규명하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

Alexander Layer, Eric Ten Brinke, Fred Van Houten, Hubert Kals and Siegmund Haasis(2002), Recent and future trends in cost estimation, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 15(6), 499-510.

Alfred J. D. Lambert(2003), Disassembly sequencing: a survey, *International Journal of Production Research*, 41(16), 3721-3759.

Alfred J. D. Lambert, Surendra M. Gupta(2005), *Disassembly Modeling for Assembly, Maintenance, Reuse, and Recycling*, CRC Press.

B. J. Hicks, S. J. Culley and G. Mullineux(2002), Cost estimation for standard components and systems in the early phases of the design process, *Journal of Engineering Design*, 13(4), 271-292.

C. Ou-Yang and T. S. Lin(1997), Developing an Integrated Framework for Feature-Based Early Manufacturing Cost Estimation, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13, 618-629.

Chang-Xue (Jack) Feng, Andrew Kusiak and Chun-Che Huang(1996), Cost evaluation in design with form features, *Computer-Aided Design*, 28(11), 879-885.

Christopher Rush and Dr. Rajkumar Roy(2000), Analysis of cost estimating Processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle, Department of Enterprise Integration, SIMS, Cranfield University, Cranfield, Bedford, MK43 0AL, United Kingdom.

Dunbing Tang, Walter Eversheim and Günther Schuh(2004), Qualitative and quantitative cost analysis for sheet metal stamping, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(5), 394-412.

Erik Ten Brinke, Eric Lutters, Ton Streppel and

Hubert Kals(2004), Cost estimation architecture for integrated cost control based on information management, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(6), 534-545.

G. C. Vosniakos(1998), Feature-Based Product Engineering: A Critique, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 14, 474-480.

Jong-Yun Jung(2002), Manufacturing cost estimation for machined parts based on manufacturing features, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13, 227-238.

Karl T. Ulrich and Steven D. Eppinger(2003), *Product Design and Development*, McGraw-Hill.

Kevin Otto and Kristin Wood(2001), *Product Design : Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*, Prentice Hall.

K. -K. Seo, J. -H. Park, D. -S. Jang and D. Wallace(2002), Approximate Estimation of the Product Life Cycle Cost Using Artificial Neural Networks in Conceptual design, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19, 461-471.

P. Duverlie and J. M. Castelain(1999), Cost Estimation During Design Step: Parametric Method versus Case Based Reasoning Method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15, 895-906.

Peter Leibl, Mahendra Hundal & Guenther Hoehne(1999), Cost Calculation with a Feature-based CAD System using Modules for Calculation, Comparison and Forecast, *Journal of Engineering Design*, 10(1), 93-102.

Rudolph J. Eggert(2005), *Engineering Design*, Pearson Prentice Hall.

Stuart Pugh(1991), *Total Design : Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company.

Tsai C. Kuo, Hong C. Zhang and Samuel H. Huang(2000), Disassembly analysis for electromechanical products: a graph-based heuristic approach, *International Journal of Production Research*, 38(5), 993-1007.

Y. Asiedu and P. Gu(1998), Product life cycle cost analysis: state of the art review, *International Journal of Production Research*, 1998, 36(4), 883-908.

Y. -J. Tseng and B. C. Jiang(2000), Evaluating Multiple Feature-Based Machining Methods Using an Activity-Based Cost Analysis Model, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16, 617-623.

Yasuo Kondo, Kenji Deguchi, Yu-ichiro Hayashi and Fumio Obata(2003), Reversibility and disassembly time of part connection, *Resources Conservation & Recycling*, 38, 175-184.

Ying Tang, MengChu Zhou, Eyal Zussman and Reggie Caudill(2000), Disassembly Modeling, Planning, and Application: A Review, *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, San Francisco, CA.