

제품설계 신뢰성 제고를 위한 LCC의 알고리즘 연구

- A Study on Algorithm of Life Cycle Cost for Improving Reliability in Product Design -

김 동 관 *

Kim Dong Kwan

정 수 일 **

Jung Soo Il

Abstract

Parametric life-cycle cost(LCC) models have been integrated with traditional design tools, and used in prior work to demonstrate the rapid solution of holistic, analytical tradeoffs between detailed design variations. During early designs stages there may be competing concepts with dramatic differences. Additionally, detailed information is scarce, and decisions must be models. for a diverse range of concepts, and the lack of detailed information make the integration make the integration of traditional LCC models impractical. This paper explores an approximate method for providing preliminary life-cycle cost. Learning algorithms trained using the known characteristics of existing products be approximated quickly during conceptual design without the overhead of defining new models. Artificial neural networks are trained to generalize on product attributes and life cycle cost data from pre-existing LCC studies. The Product attribute data to quickly obtain and LCC for a new and then an application is provided. In additions, the statistical method, called regression analysis, is suggested to predict the LCC. Tests have shown it is possible to predict the life cycle cost, and the comparison results between a learning LCC model and a regression analysis is also shown

Keywords : ANN(Artificial Neural networks), Learning LCC, Product Design

* 인하대학교 대학원 산업공학과 박사과정

** 인하대학교 공과대학 산업공학과 교수

2005년 10월 접수; 2005년 12월 수정본 접수; 2005년 12월 게재 확정

1. 서론

최근 제품 생산 형식은 주로 소비자의 다양한 요구를 충족시키기 위한 다품종 적량 생산체제로 나아가고 있다. 제품소비 패턴도 크게 달라져 제품 교체 시점이 종래에는 내구 한계이던 것이 최근에는 유행의 변화로 전환되어 가는 경향을 보임에 따라 제품의 내구 한계 이전에 발생하는 폐기물 문제가 점점 더 심각해지고 있는 실정이다. 이러한 현실을 타개하기 위하여 최근 환경 법규는 폐기물의 감량화 또는 재자원화를 유도하는 방향으로 법규의 제정 또는 개정이 이루어지고 있다. 이미 유럽연합(EU)에서 시행 중인 “take-back law¹⁾”나, 미국의 캘리포니아주의 경우처럼 궁극적인 폐기자 역할을 소비자가 하는 대신 이 비용을 생산자가 부담하는 “front-end fee²⁾” 법안이 입안되어 이미 실행되고 있는 경우가 대표적인 사례이다. 이처럼 점차 심화되어 가고 있는 환경규제 속에서 기업이 경쟁력을 가지고 살아남기 위해서는 이러한 추가적인 비용을 피하거나 절감하는 노력이 절실히 요구된다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 도구로써 개발중인 방법론이 전과정 평가(life cycle assessment ; LCA)이다. LCA는 제품수명의 전과정-원료 획득 및 가공, 제품제조, 운반, 사용 및 폐기 - 에 걸쳐 제품이 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 기법으로 정의된다. LCA는 현재 특정 제품이나 공정, 또는 활동의 총체적인 환경 영향을 평가함으로써 진정한 의미의 환경적 건전성을 판정하는 매우 유용한 도구로 인식되고 있으며, 현재 ISO에서도 경영적인 변에서의 실적평가기법으로 환경 실적 평가(environmental performance evaluation ; EPE)를, 그리고 제품에 대한 평가 기법으로는 LCA에 대한 국제 표준화 작업을 수행하고 있다. 이에 대응하기 위해 우리나라에서도 LCA에 대한 연구 및 보급이 시급한 과제이다.

실제로 제품을 설계할 때 일부분의 비용 정보를 가지고 제품 설계를 수행하여 비용을 절감한 연구들은 보고되고 있으나, 제품수명의 전과정 동안의 비용을 고려하여 제품을 설계하는 방법에 대한 연구는 극히 미진하므로 이에 대한 연구가 절실히 요구된다. 만약 제품의 개념 설계 단계에서 제품의 총비용을 평가할 수 있는 방법이 있다면, 제품수명 전과정 동안의 총비용을 줄일 수 있는 가장 경제적인 방법이며 환경 친화적이 될 것이다.

1.1 연구 범위와 방법

제품 설계시에 제품수명의 전과정에 대한 비용 평가치를 제공해주면 회사 경영, 제

1) 유럽연합국가에서 실행되고 있는 법규로 제품이 폐기될 때 제품 폐기의 책임을 생산자가 져야 한다는 내용으로 제품 생산업자는 제품의 폐기 후까지 고려하여 제품을 생산하여 환경에 대한 부담을 최소화하기 위한 목적으로 실행되고 있다.

2) 이 법안도 유럽국가의 “take-back law”와 비슷한 개념으로 제품을 폐기할 때의 비용을 제품 생산자가 미리 주정부에 지불해야 한다는 내용이다.

품 설계, 생산공정관리에 많은 도움을 받을 수 있다. 이는 보다 환경 친화적인 회사 경영과 제품설계 그리고 생산활동을 이루게 되어 제품의 환경 우위성은 물론 비용절감 등 다양한 효과를 얻을 수 있다.

그러나 이 제품수명비용(Life Cycle Cost ;LCC) 방법은 많은 장점을 가지고 있는 방법임에도 불구하고, 많은 시간과 비용이 소요되는 작업이므로 이를 좀 더 효과적으로 수행할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

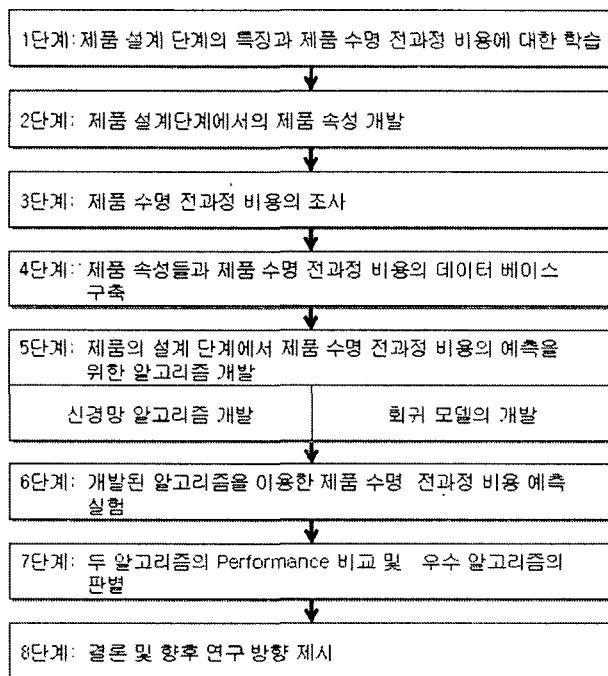
본 연구에서는 LCC 방법의 적용 시 많은 시간과 비용이 소요되는 점을 개선하기 위하여, 제품의 LCC를 평가할 수 있는 방법론을 제안한다. 이를 위해서 본 연구에서는 제품의 전과정 동안의 모든 비용들을 평가할 수 있는 상위 단위의 제품 속성들(high-level product attributes)³⁾을 개발 한다. 그리고 과거 LCC를 수행한 결과와 직접 조사 평가한 LCC 결과를 데이터베이스로 구축한다. 새롭게 개발한 상위 단위의 제품 속성들과 LCC 데이터베이스를 가지고 통계적 기법인 회귀 모델(regression model)과 인공지능(artificial intelligence) 기법인 신경망(neural network) 기법을 이용하여 제품의 LCC를 설계단계에서 평가할 수 있는 방법을 개발한다. 이 방법은 새로운 제품을 개발할 때 제품의 LCC를 평가할 수 있기 때문에 보다 환경 친화적인 제품의 개발을 가능하게 해 주는 효과가 기대된다.

이 방법은 제품개념 설계단계에서 다양하게 존재하는 제품 개념들에 대한 LCC를 인공 신경망을 적용한 학습 알고리즘을 이용하여 예측함으로써, 제품의 개발시간을 단축하는 등의 다양한 이익을 얻을 수 있는 방법이다. 그리고 회귀분석과 인공 신경망 기법 두 기법간의 비교 평가도 수행된다.

<그림 1> 는 본 논문에서 수행하게 될 연구방향의 전체 흐름도를 보여주고 있다.

3) 본 논문에서는 개념설계단계에서의 제품 속성들을 개발하는데, 이 단계에서의 속성은 상세한 설계정보가 아닌 개념적이고 포괄적인 의미를 가지고 있는 속성들로 이를 상위 단위의 제품 속성들(high-level product attributes)이라고 정의한다.

<그림1> 논문에서 수행할 연구 전체 흐름도



2. 본 론

2.1 Life Cycle Cost의 이론적 고찰

2.1.1 LCC의 개념과 구성

1) LCC의 개념

제품의 전과정에 대한 환경 요인을 파악하기 위한 도구로써 개발 중인 방법론이 전과정 평가(LCA)임은 전술하였다. LCA는 제품의 전과정- 원료 획득 및 가공, 제품 제조, 운반, 사용 및 폐기-에 걸쳐 제품이 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 기법으로 정의되고, 현재 특정 제품이나 공정, 또는 활동의 총체적인 환경 영향을 평가함으로써 진정한 의미의 환경적 건전성을 판정하는 매우 유용한 도구로 인식되고 있다.

그러나 LCA는 서비스를 포함한 제품의 전과정 동안 발생된 환경 부하를 계산하고 평가하는 매우 유용한 도구임에도 불구하고, 그 평가 결과를 환경전문가가 아닌 다른 사람들이 이해하기에는 어려운 점이 있다. 즉, 경영자나 제품의 설계자 그리고 엔지니어들은 LCA수행 결과로써 주어지는 환경지수(environmental indicator)들의 이해는 물론 이 결과들을 회사의 경영이나 제품의 설계 그리고 공정의 개선을 위해 바로 활용하는 것이 용이하지 않다.

이러한 점들의 개선을 위해 도입된 개념이 바로 제품 수명 전과정 비용(LCC)이다. 기존 제품과 관련된 비용은 제품의 제조단계에서의 비용만을 고려해 왔으나, LCC개념은 제품의 제조 단계 외에 제품의 사용 단계 그리고 제품의 폐기 단계에 이르는 제품의 전과정 동안의 모든 비용을 고려하는 기법이다.

2) LCC의 구성

제품의 LCC는 생산자 비용(company cost), 사용자 비용(user cost), 그리고 사회 비용(society cost)으로 구성된다. 제품의 life cycle 단계와 비용은 <그림 2>에 잘 나타나 있다.

<그림2> 제품의 Life Cycle 단계와 비용요소

	생산자 비용 (Company Cost)	사용자 비용 (Users Cost)	사회 비용 (Society Cost)
설계 (Design)	시장 인식 (Market Recognition) 개발 (Development)		
생산 (Production)	자재(Materials) 에너지(Energy) 설비(Facilities) 임금(Wages) 등		폐기물(Waste) 오염(Pollution) 건강 유해 (Health Damages)
사용 (Usage)	운송(Transportation) 저장(Storage) 폐기물(Waste) 파손(Breakage) 보증 서비스 (Warranty Service)	운송(Transportation) 저장(Storage) 에너지(Energy) 자재(Materials) 유지보수(Maintenance)	포장(Packaging), 폐기물(Waste) 오염(Pollution) 건강 유해 (Health Damages)
폐기/재활용 (Disposal/ Recycling)		폐기/재활용 비용 (Disposal/ Recycling Dues)	폐기물(Waste) 폐기(Disposal) 오염(Pollution) 건강 유해 (Health Damages)

자료 : Altng, L. Life-cycle design of products : a new opportunity for manufacturing enterprises. In Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques, A. Kusiak (ed.) (New York : Wiley, 1993), pp. 1-17

생산자 비용은 설계 개발, 제조 그리고 제품의 품질 관리 등의 활동을 수행하는데 드는 비용을 의미한다. 이 비용은 또한 제품의 서비스 보증 비용도 포함한다. 생산자 비용은 크게 직접비와 간접비 두 종류가 있다.

사용자 비용은 사용자가 제품을 구매한 시점에서부터 제품을 사용하고 폐기할 때까지 사용자에게 의해 초래되는 모든 활동에 대한 비용을 의미한다. 사용자 비용에서는 재활용과 폐기를 위한 비용도 포함된다.

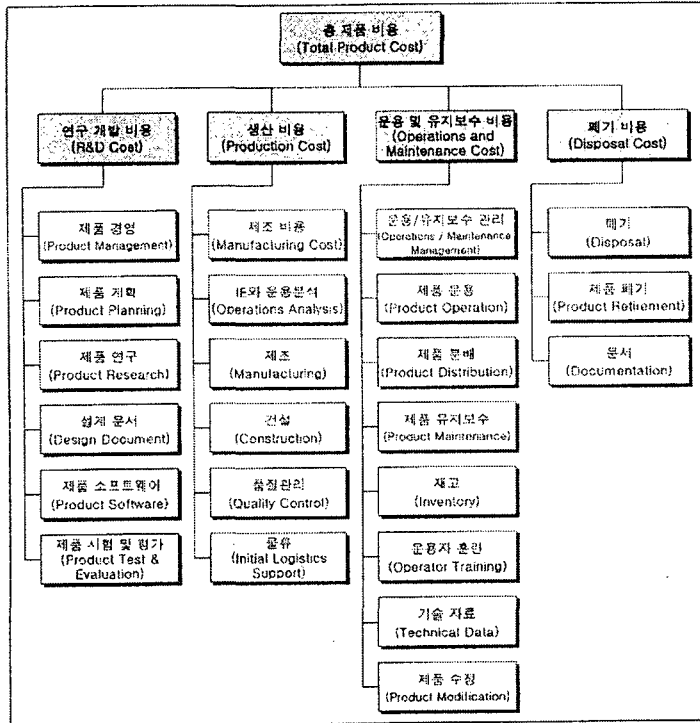
사회 비용은 제품이 사용 수명을 다하고 폐기되거나 재활용 될 때 사회가 부담하는

비용이다. 폐기된 제품에서 추출된 재료들이 재활용 될 수 있는 능력이나 환경에 미치는 영향은 모두 사회 비용의 원인이 된다. 이러한 비용들은 점점 더 증가하고 있으며 보이지 않는 무형의 형태로 정량적으로 정확히 측정하기가 어렵다. 그럼에도 이 사회 비용의 중요성은 점점 더 증가하고 있고, 이를 평가하는 연구가 활발히 진행중에 있다.

또, LCC는 <그림 3>에 나타나 있는 것과 같이, 비용 범주 별로 분해할 수 있는데, 이 분해는 CBS(cost breakdown structure)로 잘 알려져 있다.

이 CBS는 모든 종류의 제품들을 잘 이해할 수 있게 해 주고, 잘 표현해 준다. 이 분류의 수준과 비용 범주는 이 모델로부터 추출된 정보의 종류나 이 모델의 입력값으로 사용할 수 있는 데이터 중에 기초한 수명 전 과정(life cycle)의 각 단계에 의존한다.

<그림 3> 제품 수명 전과정 비용의 분해 구조 (Cost Breakdown Structure)



자료 : Fabrycky, W. J., and Blanchard, W. J. *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*. (Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991)

2.1.2 LCC 평가모델

1) 변수 모델

변수 모델은 시스템의 측정 가능한 속성들과 비용들 간의 관계를 잘 설명할 수 있는 방정식으로 일반화하고 적용하는 것이다. 변수 모델의 비용 평가는 제품이나 부품의 비용에 기초한 예측 기법으로, 과거 비용과 기술적 정보에 기반을 둔 회귀 분석이 많

이 사용되고 있다. 통계적 기법은 시스템을 설명하는 변수들을 가지고 비용과 기술적 정보를 서로 관계 짓는다. 변수들은 제조의 복잡도, 설계의 친밀도, 무게 그리고 성능 등을 포함한다.

변수 평가방법은 시스템 차원의 데이터 수집과 비용 평가 관계(cost estimation relationship; CER)를 업데이트 시키기 위한 수정 과정을 필요로 하기 때문에 많은 노력을 필요로 하나 빠른 평가 결과치를 구할 수 있다.⁴⁾ 또한 Fad와 Summers가 이 기법이 설계 공정을 통해서 사용될 수 있다는 연구를 수행하였다.

2) 유추 모델

유추에 의한 비용 평가는 비슷한 제품이나 부품들을 동일한 것으로 간주하고, 비슷한 제품과 목표로 하는 제품간의 차이를 위한 비용을 조정한다. 이 방법의 유효성은 분석된 사례와 비교하고자 하는 것 사이의 차이를 얼마나 정확하게 동일화 시킬 수 있는가에 의존한다. 유추에 의한 비용 평가 방법의 가장 큰 단점은 높은 판단의 정도를 요구한다는 것이다. 따라서 제품이나 공정에 대한 많은 지식을 가지고 있는가 없는가에 따라 그 평가 결과는 크게 달라질 수 있다. 이 방법은 새로운 제품의 비용 평가에 좋은 결과를 준다.

3) 상세 모델

상세 모델은 제품과 활동의 직접비를 평가하기 위해 노동 시간과 노동비 그리고 재료의 양과 가격의 평가치를 사용한다. 할당 비율은 간접비와 총비용을 계산하기 위해 사용된다. 일의 수준으로부터 평가치를 확립하기 위해 조직에 의해서 널리 사용되는 방법이다. 이 방법은 제품과 공정에 대한 매우 자세한 지식을 필요로 하고 또한 매우 많은 시간과 비용이 소모되는 평가 방법이다. 그러나 이 방법은 가장 정확한 비용 평가 결과를 얻을 수 있다. 어떤 활동을 수행하기 위해 필요로 하는 시간을 결정하고, 인간의 노동비나 기계의 운용비를 결정하여 비용을 얻을 수 있는데, 이를 위해서는 표준시간에 대한 정확한 평가가 필요하다. 이 방법은 매우 유연한 평가 방법임에도 불구하고, 정확한 평가를 위해 다음의 몇 가지 어려운 점이 존재한다.

- 기본적인 표준시간의 수집이나 결정
- 시간당 기계 가동률이나 인간의 생산성 등의 결정과 갱신
- 많은 정보량의 효과적 운용
- 간단하지만 단조로운 많은 계산량
- 기본적인 정보들을 적절하게 사용하기 위해 필요한 기술과 경험

4) Greves, D., and Schreiber, B., Engineering costing techniques in ESA. (1993), WWW=<http://esapub.esriu.esa.il.pointriobullet/grevesl.html>

2.2. 학습 LCC 모델 및 회귀 모델의 개발

2.2.1 학습 LCC 모델의 개발

본 연구에서 제안하는 학습 LCC 모델(learning LCC model)은 과거의 LCC를 평가하는 방법과는 다른 접근 방법이다. 기존의 방법들과 달리, 이 방법은 제품 수명의 전과정에 대한 비용 평가 모델을 자세히 모델링 할 필요가 없다. 학습 알고리즘은 개발한 상위 레벨의 제품 속성들과 이에 대응하는 제품의 LCC 결과를 이용하여, 인공 신경망(ANN:Artificial Neural Network)을 이용하여 학습시킨다. 여기에서 학습 데이터로 사용되는 LCC 결과는 과거의 LCC를 수행한 문헌상의 데이터와 실제로 제품의 LCC를 수행한 결과를 이용한다. 이 학습을 통하여, ANN은 기존의 LCC연구의 결과를 학습시킬 수 있고, 제품들간의 LCC를 일반화시킬 수 있는데 이에 대한 절차는 <그림 4>에 나타나 있다.

본 연구에서는 인공신경망 중 백프로파게이션 (BP:back propagation)을 사용하여 학습시킨다.

2.2.2 다중회귀모델의 개발

일반적으로 대부분의 공업적인 또는 사회적인 현상을 설명하는 데 있어서 어떤 종속 변수(반응 변수)의 변화는 두 개 이상의 독립변수(설명변수)에 의하여 영향을 받으며, 설명력 있는 독립변수를 여러 개 잘 선택하여 이들의 함수로서 종속변수의 변화하는 특성을 설명할 수 있을 경우에 우리는 단순회귀에 비하여 좀 더 좋은 예측을 할 수 있을 것이다.

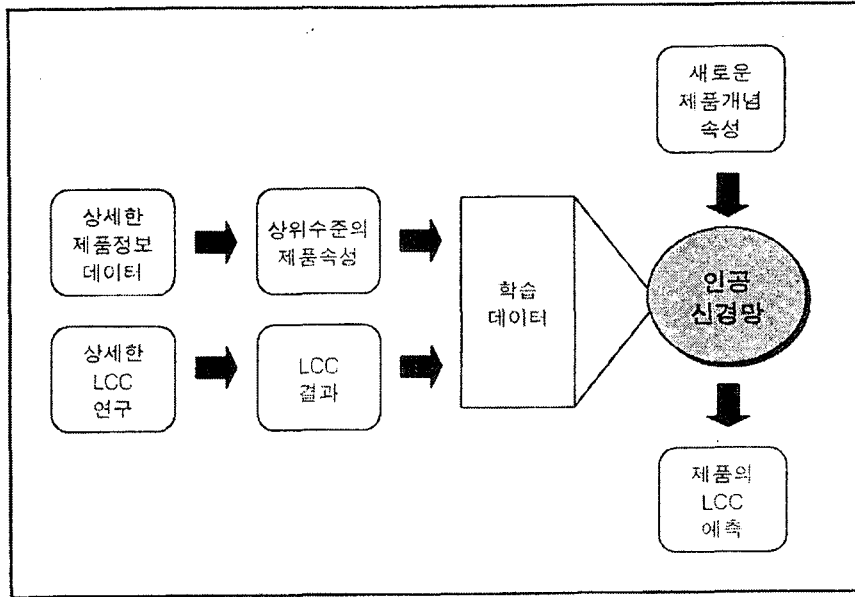
본 연구에서 수행하고자 하는 문제에 회귀 모델을 적용하기 위해서는 다중회귀 분석을 이용한 다중회귀 모델이 적합하다. 따라서 본 연구에서는 SAS 통계 패키지를 이용하여 다중회귀 분석을 수행하고, 이를 통해 다중회귀 모델을 만들어서 제품의 LCC를 예측하기로 한다.

2.2.3 제품개념 설계단계에서 속성 개발

본 연구에서는 개념 설계 단계에서 설계자, 비용 평가 전문가 그리고 환경 전문가 등에게 의미 있고, 이해하기 쉬운 제품 속성을 개발하기 위하여, 제품의 LCC를 구성하는 비용 요소들 중에서 제품 수명 전과정 에너지(life cycle energy)를 대상으로 하여 제품에 대한 전과정 비용을 평가하기로 하였다.

제품 수명 전과정 에너지는 제품의 수명 전과정 동안 소모되는 총 에너지를 조사하는 것으로 제품을 구성하는 부품들을 만들기 위한 원료 획득에서부터 원료에서 부품

〈그림 4〉 학습 LCC모델의 학습 절차



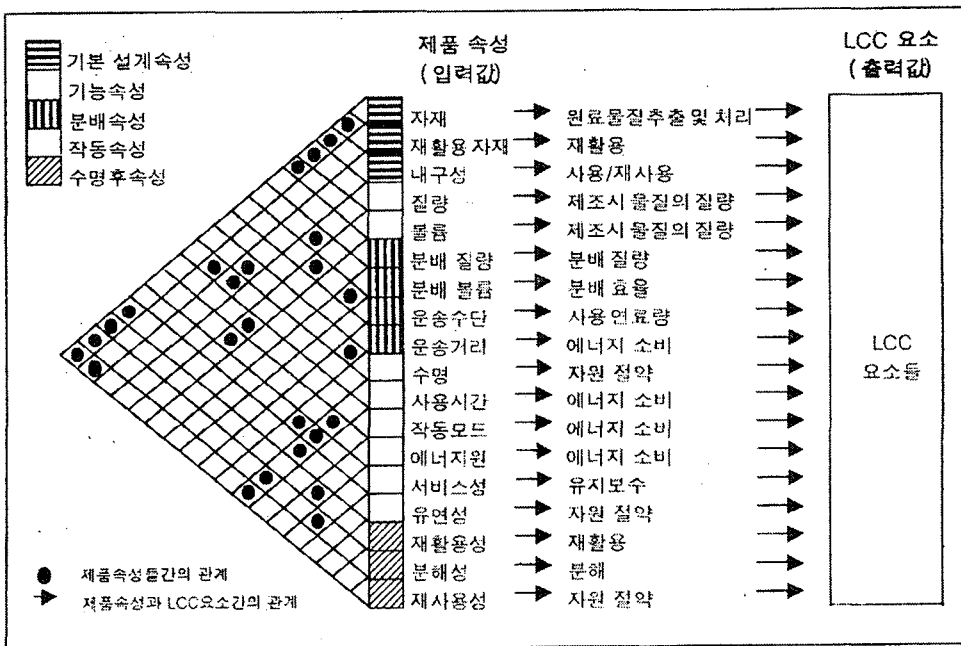
의 원자재 생성과정, 부품을 만드는 과정 부품들이 조립되어 완제품으로 완성되는 과정에 소모되는 에너지 그리고 제품의 사용수명 기간동안에 소모되는 에너지 및 제품의 폐기 시에 소모되는 에너지를 모두 조사하여 이를 합산한 값이다. 이렇게 조사한 제품 수명 전과정 에너지는 제품의 LCC를 평가하는 중요한 요소가 된다. 비록 제품 수명 전과정 에너지는 LCC를 구성하는 일부분의 값이지만 LCC를 구성하는 중요한 요소이고, 이 값으로 제품의 LCC를 평가할 수 있는 훌륭한 척도가 될 수 있었으며, 차후에 다른 비용 요인들까지 고려한 LCC 데이터 베이스의 구축으로 그 범위를 확대할 수 있다. 그리고 제품 수명 전과정 에너지는 다른 LCC 를 구성하고 있는 비용 요인보다 측정이 용이하다. 이를 위해 본 연구에서는 제품 수명 전과정 에너지와 관련 있는 개념 설계 단계에서의 제품 속성들을 정의하였는데 최초로 제안된 제품 속성들은 다음 <표 1> 과 같다. 최초로 제안된 제품 속성들은 개념 설계 단계에서 의미 있다고 제안되고 개발된 제품 속성들 중에서 <그림 5>과 <그림 6> 에서 제안한 방법을 적용하여 구성한 것이다.

<표 1>에서 제안된 제품 속성들은 전술한 피어슨 상관계수를 이용하여 제품 속성들과 제품 수명 전과정 에너지의 상관관계를 검정하였다. 이를 통해 상관성이 낮은 제품 속성들은 제외하고 상관성이 높은 제품 속성들이 최종 제품 속성들로 정의되었는데, 경계값은 $r = \pm 0.3$ 으로 하였다. 제품 속성들과 제품 LCC간의 상관관계 테스트 결과는 <표 2> 에 나타나 있다. 이 과정을 거쳐 제품 수명 전과정 에너지와 관련된 제품 속성들은 총 187개의 제품 속성들로 최종 결정되었다.

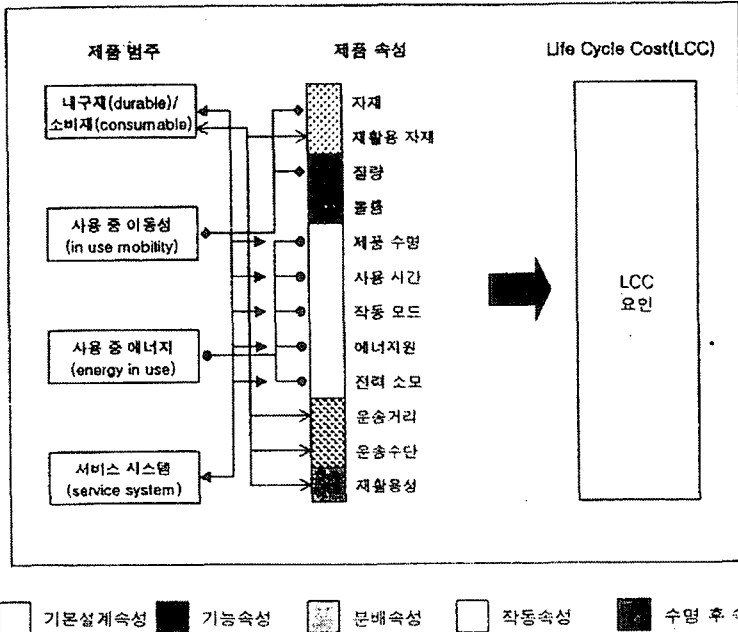
<표 1> 설계 범주와 관련된 제품 속성들의 분류

설계범부	제품속성	
일반적 설계	내구성	
기본설계	자재	재활용자재
기능 설계	질량	볼륨
운용설계	제품수명	사용시간
	에너지원	작동모드
	전력소모	사용유연성
	모듈성	갱신성
분배설계	분배질량	분배볼륨
	운송평균	운송거리
수명 후 설계	재활용성	재사용성
	분해성	

<그림 5> 제품 속성들과 LCC 요소들 사이의 개념적 관계 유도 과정



<그림 6> 제품의 범주들(Product categories)과 제품 속성들간의 관계



<표 2> 제품 범주들(Product Categories)과 제품 속성들간의 관계

제품속성	상관계수
질량	0.9656
제품수명	0.3210
사용시간	0.3012
작동모드	0.5320
에너지원	0.6658
전력소비량	0.9890
모듈성	0.1421
갱신성	-0.0100
서비스성	0.0933
유연성	-0.0295
재활용물질	-0.3760
미생물분해성	-0.0455
재활용성	-0.7730
분해성	-0.0060
재이용성	-0.0455
추가소모성	0.6035

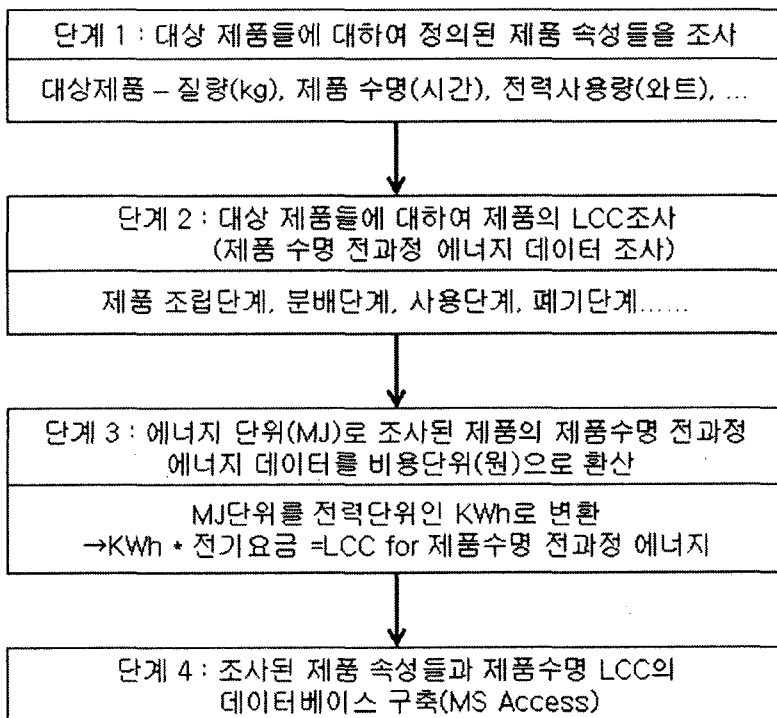
2.3 회귀모델 및 학습 LCC 모델 실험

2.3.1 제품 속성들과 LCC 데이터베이스의 구축

제품속성과 LCC 결과의 데이터베이스 구축을 위해서, 본 연구에서는 총 150개 제품들에 대한 제품속성과 LCC 결과를 조사하고 분석하였다. 각각의 제품에 대하여 정의된 속성들 및 LCC를 위해 제품 수명 전과정 에너지를 조사하였다.

전술한 바와 같이, 제품 수명 전과정 에너지는 제품의 수명 전과정 동안 소모되는 총 에너지를 조사하는 것으로 제품을 구성하는 부품들을 만들기 위해 원료 획득에서부터 부품 원자재 생성과정, 부품을 만드는 과정, 부품들이 조립되어 완제품으로 완성되는 과정에 소모되는 에너지 그리고 제품의 사용수명 기간동안에 소모되는 에너지 및 제품의 폐기 시에 소모되는 에너지를 모두 조사하여 이를 합산한 값이다. 비록 제품 수명 전과정 에너지는 LCC를 구성하는 일부분의 값이지만 LCC를 구성하는 중요한 요소이고, 이 값으로 제품의 LCC를 평가할 수 있는 훌륭한 척도가 될 수 있으며, 차후에 다른 비용 요인들까지 고려한 LCC 데이터 베이스의 구축으로 그 범위를 확대할 수 있다. <그림 7>은 제품들에 대한 제품 속성과 LCC의 데이터 베이스 구축과정의 흐름도를 표시한 것이다

<그림 7> 제품들에 대한 제품 속성과 LCC의 데이터베이스 구축 절차



〈표 3〉 다중회귀모델을 이용한 제품의 LCC 예측 결과

제품명	상세 LCC	다중회귀모델 예측값	절대오차 (%)
진공청소기	652996.68	2684135.825	311.05
히터	3169142.4	1493221.948	52.88
커피메이커	91496.208	1389979.467	1419.17
세탁기	6964446	4201450.923	39.67
냉장고 1	2432726.991	1814144.898	25.43
냉장고 2	2399576.229	2138095.145	10.9
텔레비전 1	3107851.442	2380420.807	23.41
텔레비전 2	3179831.866	2145315.167	32.53
전기자동차 1	70462303.2	63611350.83	9.72
전기자동차 2	113488522.8	118479989.8	4.4

2.3.3 학습 LCC 모델을 이용한 LCC 예측 실험

제품 속성들과 LCC 결과로 구축된 데이터베이스의 데이터를 가지고, 본 연구에서 제안한 학습 LCC 모델의 개념을 입증하기 위한 실험을 수행하였다. 학습 데이터는 총 150개의 제품에 대하여 조사하고 분석한 데이터를 사용하였다.

이 학습 모델에서 적용된 ANNs는 C++로 작성하였고, 알고리즘의 구조는 다중 입력, 단일 출력, 전방향(feed forward)의 이중 구조를 가진 백프로퍼게이션 알고리즘을 적용하였다. 또한, 은닉 층은 15개의 뉴런으로 구성하여 실험을 수행하였다.

〈표 4〉 적용 인공신경망의 구조

백프로퍼게이션 알고리즘	
입력층(Input Layer)	Multiple input
출력층(Output layer)	Single output
은닉층(Hidden Layer)	15 neurons
학습 방향	Feed forward

10개의 제품에 대한 상세 LCC 와 학습 LCC 모델을 이용하여 예측한 구체적인 LCC 결과를 〈표 5〉에 나타내었다. 〈표 5〉에서 보듯이 학습 LCC 모델을 이용한 LCC 결과치는 매우 정확하였고 그 절대 오차는 매우 작음을 확인할 수 있었다.

〈표 5〉 학습 LCC모형을 이용한 제품의 LCC 예측 결과

제 품 명	상세 LCC	ANN 예측값	절대오차(%)
진 공 청 소 기	652996.68	726478.6136	11.25
히 터	3169142.4	3162962.572	0.2
커피 메이커	91496.208	112959.4805	23.46
세탁기	6964446	7110999.668	2.1
냉장고 1	2432726.991	2599832.803	6.87
냉장고 2	2399576.229	2248018.383	6.32
텔레비전 1	3107851.442	3181688.626	2.38
텔레비전 2	3179831.866	3136974.327	1.35
전기자동차 1	70462303.2	70434623.04	0.04
전기자동차 2	113488522.8	113467527.2	0.02

2.3.4 두 실험결과의 비교분석

다중회귀 모델과 학습 LCC 모델을 이용하여 개념설계 단계에서 제품의 LCC 예측 결과를 비교·평가하였다.

본 절에서는 통계적 기법인 회귀 분석 기법과 학습 LCC 모델의 성능의 비교를 통해 두 분석기법을 평가하였는데, 두 기법간의 예측 결과의 정확성 평가를 위한 성능 척도로 절대 오차(absolute error)를 채택하여 두 방법의 우열을 판단하였다.

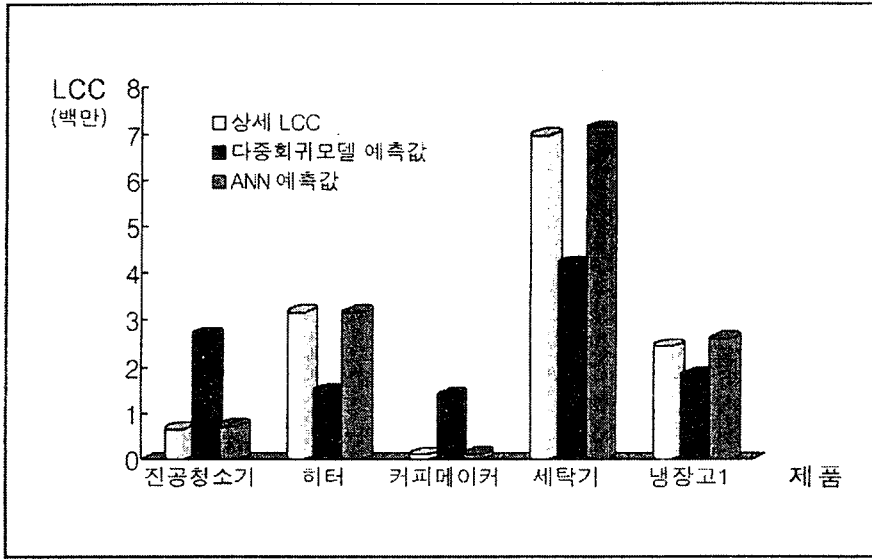
〈표 6〉은 다중회귀분석과 학습 LCC 모델을 이용하여 10개 제품의 LCC 값을 예측한 값과 상세 LCC 값을 비교해 놓은 것으로 두 실험 기법간의 비교가 가능하다.

〈표 6〉에서 보듯이 두 예측평가 방법의 절대오차를 비교해보면, 학습 LCC 모델을 이용하여 예측한 LCC 결과값이 다중회귀모델을 이용하여 예측한 결과보다 매우 우수함을 알 수 있다.

〈표 6〉 다중회귀 모델과 학습 LCC모형을 이용한 제품의 LCC 예측 결과

제 품 명	상세 LCC	다중회귀 예측값	절대오차(%)		
			다중회귀 vs. 상세 LCC	ANN 예측값 vs. 상세 LCC	
진 공 청 소 기	652996.68	2684135.825	311.05	726478.614	11.25
히 터	3169142.4	1493221.948	52.88	3162962.57	0.2
커피 메이커	91496.208	1389979.467	1419.17	112959.48	23.46
세탁기	6964446	4201450.923	39.67	7110999.67	2.1
냉장고 1	2432727	1814144.898	25.43	2599832.8	6.87
냉장고 2	2399576.2	2138095.145	10.9	2248018.38	6.32
텔레비전 1	3107851.4	2380420.807	23.41	3181688.63	2.38
텔레비전 2	3179831.9	2145315.167	32.53	3136974.33	1.35
전기자동차 1	70462303	63611350.83	9.72	70434623	0.04
전기자동차 2	113488523	118479989.8	4.4	113467527	0.02

<그림 9> 다중회귀 모델 및 학습 LCC 모델을 이용한 제품의 LCC 예측 결과 그래프



<표 7> 다중회귀 모델과 학습 LCC 모델을 이용한 제품의 LCC 예측값과 상세 LCC간의 절대 오차

제품명	절대오차 (%)	
	Detailed LCC vs. 다중회귀	Detailed LCC vs. ANN
진공청소기	311.05	11.25
히터	52.88	0.2
커피메이커	1419.17	23.46
세탁기	39.67	2.1
냉장고 1	25.43	6.87
냉장고 2	10.9	6.32
텔레비전 1	23.41	2.38
텔레비전 2	32.53	1.35
전기자동차 1	9.72	0.04
전기자동차 2	4.4	0.02

<그림 9>은 <표 6>의 실험결과를 그래프로 표시한 것으로 다중 회귀 분석 학습 LCC 모델을 이용한 LCC의 예측값과 상세 LCC의 값들을 한눈에 비교할 수 있다. <그림 9>에서 보듯이 학습 LCC 모델을 이용한 LCC의 예측값과 상세 LCC의 값들

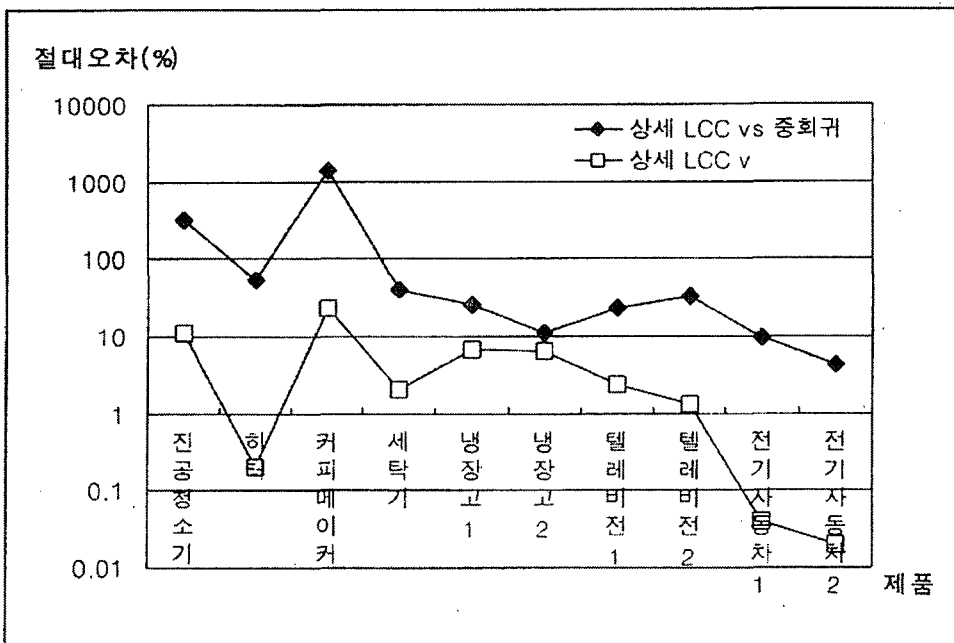
은 거의 차이를 보이지 않는 반면에 다중 회귀 분석 예측 결과치는 상세 LCC의 값과 많은 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

<표 7>은 10개의 제품에 대한 각각의 예측값과 상세 LCC 값 사이의 절대오차를 나타낸 것이다.

<그림 10>에서 보듯이 학습 LCC 모델을 이용한 예측값과 상세 LCC 값 사이의 절대오차가 상대적으로 다중회귀 모델을 이용한 예측값과 상세 LCC 값 사이의 절대오차보다 작음을 확인할 수 있다.

이상에서 확인하였듯이 다중회귀 분석과 인공 신경망에 기반을 둔 학습 LCC모델을 이용하여 개념설계단계에서 제품의 속성들을 이용한 LCC 결과를 예측해 본 결과 인공 신경망에 기반을 둔 학습 LCC모델이 예측치가 매우 우수함을 확인할 수 있었다. 그러므로 향후 개념 설계 단계에서 제품의 LCC 예측에는 인공 신경망에 기반을 둔 학습 LCC 모델의 사용이 바람직하며 기타 다른 비용 예측이나 생산량의 예측 등의 분야에 인공 신경망 기법을 활용하면 보다 좋은 실험 결과치를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

<그림 10> 다중회귀 모델 및 학습 LCC모델을 이용한 제품의 LCC 예측치와 상세 LCC간의 절대오차의 그래프



3. 결 론

본 연구에서는 제품의 개념 설계 단계에서 설계자나 비용평가 전문가 그리고 환경전문가 등이 간단하고, 의미 있고, 이해하기 쉬운 제품 속성들을 개발하여 인공 신경망 기반의 학습 LCC 모델 개발 및 다중 회귀모델을 개발하여 제품의 개념 설계단계에서 제품의 LCC를 예측하였다.

제안한 제품 개념 설계 단계에서의 제품의 LCC 예측을 위한 방법의 유용성을 입증하기 위하여 본 연구에서는 먼저 설계 단계에서의 제품 속성들을 개발하였는데, 이를 위해 설계자, 비용평가 전문가 그리고 환경 전문가 등에게 문의하여 개념 설계 단계에서 제품 속성들을 조사하였고, 상관분석 등을 통하여 개념 설계 단계에서의 제품 속성을 정의하였다.

정의된 제품개념 설계 단계의 제품 속성들과 제품의 LCC는 총 150개 제품에 대하여 조사 및 분석하였으며, 이들간의 관계를 데이터 베이스로 구축하였다.

구축된 데이터 베이스의 데이터들의 활용하여 본 연구에서 제안한 다중회귀 분석과 인공 신경망에 기반을 둔 학습 LCC 모델을 이용하여 새로운 제품의 LCC 결과를 예측하였다. 다중회귀분석을 이용하여 예측한 LCC값의 절대오차는 4.4~1419.17%의 범위 값을 나타냈는데, 이 예측값은 신뢰하기 어렵다. 이에 반해 인공 신경망에 기반을 둔 학습 LCC 모델을 이용하여 LCC를 예측한 결과값의 절대오차의 범위는 0.02~23.46%로 매우 우수한 예측값을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 향후 개념 설계 단계에서 제품의 LCC 예측에는 인공 신경망에 기반을 둔 학습 LCC 모델의 사용이 훨씬 바람직하다고 판단된다.

인공 신경망에 기반을 둔 학습 LCC 모델을 사용하여 개념 설계 단계에서 다양한 제품 개념의 LCC를 평가하면 기업에서는 다음과 같은 효과가 기대된다.

첫째, 제품 개발 시간을 단축하여 제품의 시장출시시간을 줄일 수 있고 이는 곧 시장에서의 경쟁 우위를 확보할 수 있음을 의미한다. 일반적으로 제품 개발비용의 75~80%가 제품설계 단계에서 결정되는데 제안된 기법을 도입하면 시간과 비용을 절감하고 진술한 경제적 비용 효과 외에 회사 이익에도 많은 기여를 할 수 있으리라 판단된다.

둘째, 제품의 환경 우수성을 확보하여 다른 제품과 확연하게 구분되는 제품 차별화를 가능하게 해준다. 또, 제품수명의 전과정 동안의 환경성 및 비용을 예측·평가하여 관리할 수 있는 원가관리를 가능하게 해준다. 더 나아가서 향후 강화될 국·내외의 환경 규제에 발빠르게 대처할 수 있어 기업의 경쟁력을 강화시켜주고 제품 및 기업의 이미지를 강화시켜 줄 수 있는 혁신적인 방법이라고 할 수 있다.

셋째, 다른 비용 예측이나 생산량의 예측 등의 분야에 인공 신경망 기법을 활용하면 보다 좋은 실험 결과치를 얻을 수 있을 것으로 예상되며 향후 활용 분야를 다양하게 확장할 수 있으리라 기대된다.

향후 연구과제로는 보다 다양한 제품 속성들을 정의할 수 있도록 지속적인 제품 속성 개발이 필요하다. 그리고 본 연구에서는 LCC 평가 방법으로 life cycle energy를 조사하여 비용으로 환산한 LCC를 사용하였는데, 향후에는 다른 비용 요소들 모두를 고려한 LCC 비용 평가와 이를 통한 데이터베이스 구축이 필요하다.

4. 참 고 문 헌

- [1] 강병서, '생산경영론', 무역경영사, 1998.
- [2] 김희탁 외, '생산관리', 법문사, 1999.
- [3] 송문섭 외, 'WINDOW 용 SAS를 이용한 통계자료 분석', 자유아카데미, 1997.
- [4] 폐기물 발생 억제 정책의 평가와 발전방향-전기, 전자폐기물 관리 방향, 한국 환경영향정책 평가연구원, 1998.
- [5] 강근석 외, '회귀분석', 교우사, 1999.
- [6] 강명옥 외, '회귀분석 : 모형 개발과 진단', 울곡출판사, 1997.
- [7] 이종원 외, 'SAS를 이용한 통계분석', 박영사, 1999.
- [8] Ahmed, N.U., "A design and implementation model for life cycle cost management system", Information and Management Vol. 28, 1995.
- [9] Alting, L., Life-cycle design of products : a new opportunity for manufacturing enterprises. In Concurrent Engineering : Automation, Tools, and Techniques, A. Kusiak(ed.), New York : Wiley, 1993.
- [10] Anderson, James A., Introduction to Neural networks, Bradford Books. 1995.
- [11] Dean E. S., and Unal R., "Elements of designing for cost", Proceedings of AIAA 1992 Aerospace Design Conference, February, 1992.
- [12] FabrlIcky, W. J., and Blanchard, W. J., Life-Cycle Cost and Economic Analysis, Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1991.
- [13] Weirda, L. S., "Product cost-estimation by the designer", Engineering Costs and Production Economics, Vol. 13 1988.
- [14] Creese, R. C., and L. T. Moore, "Cost modeling for concurrent engineering", Cost Engineering, Vol. 32 June, 1990.
- [15] Deniz, J. C., "Learning Theory Applications to Product Desing", Master of Science in mechanical Engineering, Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [16] Keys L. K., "System life cycle engineering and DF 'X'", IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Vol. 13, 1990.
- [17] Revelle, J. B. and J. W. Moran, ' The QFD Handbook' John Wiley & sons, Inc., New York. 1998.

저 자 소 개

김 동 관 : 자동차 전문 컨설팅사인 (주)루트경영연구소의 대표컨설턴트로 재직중이며, 인하대학교 산업공학 석사, 상지대학교 산업공학 박사를 취득하고, 한국생산성 본부 전문위원으로 다년간 활동하였으며 현재는 한국생산성 본부 수석 컨설턴트로 활동 중이다. 또한 사인시스템 CEO, 인하대학교 경영학부 겸임교수를 역임하였으며, 현재 인하대학교 대학원 경영학 박사과정을 수료하였다.

현재 한국 심사자격 인증원 운영위원 및 품질경쟁력 우수기업 인증 심사원으로 활동 중이며 한국표준협회 국가품질센터 사업 자문을 수행하고 있으며, 주요 관심분야로는 전략 경영 및 성과관리체계(BSC)와 Six Sigma를 융합한 통합 경영 혁신 모델을 국내 기업에 맞게 최적 설계 및 접목 모델을 만드는 것이다.

정 수 일 : 현재 인하대학교 기계공학부 산업공학과 교수로 재직중이며, 미국 Minnesota 대학교 산업공학 석사, 홍익대학교 경영학 박사를 취득하였다. 주요 경력사항으로는 품질관리기사 및 기술사 출제 및 면접위원, 국가교정제도 운영위원회 위원장, 산업정책 평가 위원을 역임하였으며, 현재 한국심사자격 인증원의 회장직을 맡고있다.

주요 관심분야로는 기업의 품질경영체제, 산업 표준 및 측정 재정 등이다