

생산 시스템에서 제조 비용 분석 모델의 연구

A Cost Analysis Model in Manufacturing Systems

한주윤, 정봉주

연세대학교 산업시스템공학과

Abstract

제조 원가는 기업의 목표인 이익의 가장 핵심적인 부분이지만 분석적인 방법론으로 측정하기 어려운 부분이다. 단순한 재무적인 구조를 통하여 얻어지는 제조 원가는 현 시장에서 커다란 의미를 갖지 못한다. 따라서 생산 시스템 차원에서 제품의 제조 원가 측정은 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 생산 시스템에서 제품의 제조 원가의 정확한 측정이 가능한 직접 원가 측정 모델과 제조 간접비 측정 모델로 이루어진 제조 원가 측정 모델을 제안하고 이러한 모델을 통하여 생산 시스템의 변화가 제품의 제조 원가에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 직접 원가 측정 모델은 생산되어지는 각 단위 제품별로 직접적으로 쓰여지는 비용에 대하여 제조 원가의 측정이 가능하도록 하였으며, 이러한 각 단위 제품별 제조 원가의 총합과는 별도로 제품의 생산에 간접적으로 쓰여지는 비용들은 따로 측정하여 전체 생산 시스템에서의 제조 간접비용을 측정할 수 있도록 하였다. 또한 생산 시스템의 성능(Performance)이 제조 원가 측정 모델에 포함되도록 하여 시스템의 성능에 따른 제조 비용의 변화를 알아 볼 수 있도록 하였다.

1. 서론

원가에 대한 정의는 여러 가지가 있다. 원가를 연구하는 분야에 따라서 약간의 차이는 있지만, 일반적으로 커다란 의미의 원가에 대한 정의는 “원가란 특정한 목적을 달성하기 위해서 발생한 또는 발생할 가능성이 있는 희생을 화폐가치로 측정된 것”이라는 미국회계학회 정의와 거의 유사하다. 좁은 의미의 원가는 일반적으로 특정 제품이나 서비스를 구하기 위해서 치른 희생을 또는 이를 화폐단위로 측정된 것을 원가라 한다.

본 연구에서 다루는 원가는 좁은 의미의 원가 중에서도 특히 제조 공정에서 제품의 제조에 포함되는 제조 원가이며 이것은 직접적으로 혹은 간접적으로 제품의 제조에 일정한 영향을 미치는 요소들에 대해서만 고려하였다. 즉 현재 생산되는 제품에 직접적으로 영향을 미치는 요소가 아닌 초기 사업 투자비 같은 원가 요소 등은 제외하였다.

원가의 측정은 크게 세 가지 방법론을 통해서 이루어진다. 공학적인 방법론과 통계적인 방법론, 그리고 회계적인 방법론이다. 통계적인 방법론과 회계적인 방법론은 경영의 차원에서 전체적인 원가를 측정하여 경영에 대한 올바른 의사결정을 위해서 이루어지는 경우가 많고 공학적인 방법론은 정확한 원가 측정을 통하여 원가의 절감이나 제조 공정의 문제점을 찾아내기 위하여 이루어지는 경우가 대부

분이다. 따라서 본 연구에서는 공학적인 접근방법을 통하여 생산 시스템에서 제품 제조 원가의 정확한 측정이 가능한 제조 원가 측정 모델을 제안하고 이러한 모델을 통하여 생산 시스템의 변화가 제품의 제조 원가에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 제조 원가 측정 모델은 직접 원가 측정 모델과 제조 간접비 측정 모델로 이루어지며, 직접 원가 측정 모델은 생산 제품별로 직접적으로 쓰여지는 비용에 대하여 측정하고, 제품의 생산에 간접적으로 쓰여지는 비용들은 제조 간접비 측정 모델에서 따로 측정하였다. 또한 생산 시스템의 성능이 제조 원가 측정 모델에 포함되도록 하여 시스템의 성능에 따른 제조 원가의 변화를 알아 볼 수 있도록 하였다. 일반적으로 원가는 다음 그림 1과 같은 구조를 지니고 있다.[1]

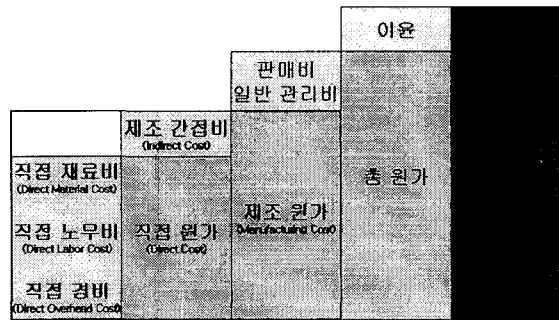


그림 1. 전체 원가 구조

그림 1의 원가 구조에 의하면 본 연구에서 다루는 제조 원가는 제조 간접비와 직접 재료비, 직접 노무비, 직접 경비로 이루어진 직접 원가로 구성된다. 2장에서는 지금까지 이루어져온 제조 원가에 대한 연구를 간단하게 분석하고 3장에서는 직접 원가를 구하는 방법론과 알고리즘에 대하여 4장에서는 제조 간접비를 구하는 제조 간접비 측정 모델에 대하여 알아보고, 5장에서는 생산 시스템과 제조 비용의 연관관계에 대하여 연구하였다.

2. 기존 연구 현황

일반적으로 원가에 대한 연구와 새로운 기술에 의한 원가의 절감에 대한 연구는 어느 정도 이루어져 왔지만, 제조 원가 자체의 측정에 대한 연구는 활발하게 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 생산 시스템의 성능과 원가의 연관관계에 대한 연구 역시 거의 전무한 상황이며 생산 시스템의 성능에 대한 주요 요소들은 원가 측정에 잘 반영되어지지 못하고 있다. 그러나 최근에는 회계상의 단순한 원가 측정이 아닌 시스템적인 접근방법을 통하여 정

확한 원가를 측정하려는 연구들이 어느 정도 이루어지고 있다. 회계적인 원가 계산이나 BOM을 이용한 단순한 원가 측정은 제품이나 프로세스의 변화에 민감하게 대응하지 못하고 Yield나 Test에 대한 고려가 없기 때문에 결과가 부정확하며 시행착오에 의한 계산이기 때문에 제조 공정의 정확한 원가 계산에는 무리가 있다. 또한, 품질과 비용에 대한 고려가 있는 시뮬레이션에 의한 분석법은 많은 양의 자세한 초기 데이터가 필요하기 때문에 실무에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 이러한 접근 방법이 아닌 시스템의 모델링을 통한 원가 측정에 대한 연구는 다음과 같이 이루어지고 있다.

생산 시스템에서의 제조 원가에 대한 연구는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 일반적인 시스템에 대한 모델링을 통하여 제조 원가를 구하는 연구 분야 [2][3][6][8]와 반도체 생산 공정이나 전자 제품 조립 공정과 같은 특정한 시스템에 대한 모델링을 통하여 제조 원가를 구하는 연구 분야 [4][5][7]이다. 두 가지 방법 모두 장단점이 있지만, 아직 생산 시스템과 제조 원가의 상관관계에 대한 연구는 활발하게 이루어지지 않고 있다. 지금까지 이루어져온 생산 시스템에서의 제조 원가에 대한 연구는 다음과 같다.

조립 제조 공정 자체의 문제에 대한 연구로는 Carl(1992)[2]의 연구가 있다. Carl(1992)은 프로세스의 정확성과 빠른 프로세스 시간이라는 Trade off로 인하여 발생하는 기존의 일반적인 원가 계산의 문제점을 지적하고 Process-Based Cost Modeling이라는 방법론을 제안하였다. 다양한 제조 과정에서의 각 단계별 원자재의 투입과 원자재의 상태를 확률적으로 결정하는 Finite State Automata(FSA)라는 Process Model을 통하여 제품의 상태를 예측하고 이것을 바탕으로 전체적인 제조 프로세스의 상태를 파악할 수 있는 기본적인 Process Model을 제안하였다. 이 모델을 통하여 얻어진 정보를 이용하여 Cost Model에서 원가를 측정할 수 있는 모델을 제안하였다. 이러한 연구는 제조 프로세스의 정확한 분석이 원가 측정 모델에 반영되었다는 점과 여러 가지 제조 공정에 적용이 가능한 점에서 새로운 형식의 원가 측정 모델이라고 할 수 있다.

일반적인 제조 공정에서 생산 시스템과 원가 분석의 관계에 관한 연구로는 Daren(1996)[3]의 연구가 있다. Daren(1996)은 Cost Of Ownership을 일반적인 Assembly 공정에 적용하였다. Cost Of Ownership은 Throughput과 Utilization 및 Yield와 같은 생산 시스템의 일반적인 성능들이 원가 측정에 반영되기 때문에 생산 시스템의 성능과 원가의 관계를 연구하기에 좋은 방법론이며, 제품의 Yield에 대한 고려는 또한 Scrap에 의해 발생하는 원가의 증가를 분석 모델에서 측정이 가능하게 하였다. 또한 이러한 방법론이 제품의 Inspection에 적용되었을 때 생산 시스템의 성능과 원가에 미치는 장점에 대해 연구하였다.

특정한 원가 측정 모델을 특정 제조 공정에 적용한 연구로는 Michael(1998)[4]의 연구가 있다. 이 연구는 Electronic System에 대한 연구이기는 하지만 Modular Optimization Environment(MOE)라는 원가 측정 모델을 특정 제조 공정에 적용하여 제조 공정의 변화가 제품의 원가에 어떠한 영향을 미치는지를 분석한 것이다. MOE는 Nonrecurring Cost와 Direct Cost, Scrap or Reject Cost로 이루어진

어진 Cost Model을 전체 완제품으로 생산되어지는 제품에 적용하였으며, 제조 프로세스의 복잡성을 줄여 분석의 효율성을 높이기 위하여 Monte Carlo Simulation 기법을 도입하여 분석하였다.

특정한 제조 공정에 관한 원가 분석에 대한 연구로는 Chang(1997)[5]의 Semiconductor Wafer Fabrication에 대한 연구가 있다. 각 공정의 반복 방문회수가 많은 반도체 공정의 특징을 반영하기 위해 원가 측정 모델을 네 단계 수준(Machine, Workstation, Route, Factory Level)으로 나누어서 제안하였고, 초기 투자비와 공간 사용비, 조립비, 경비, 유지비, 노무비 등을 포함한 원가 요소들과 각각의 Route에 대한 사용율을 이용하여 반복 방문의 특징을 모델에 적용하였다. 각각의 수준에서의 원가를 구하고 이러한 값들의 총합을 이용하여 생산 시스템의 원가를 구하였다. 또한 각각의 Workstation에 대해 Set up, Idle, Down time을 고려하여 기회 비용(Opportunity Cost)을 산출하였다. 이러한 생산 시스템의 원가와 기회 비용을 이용하여 전체 제조 공정의 원가를 구하였다.

3. 생산 시스템에서 직접 원가 측정 모델

본 연구에서 가정한 생산 시스템은 k 개의 각 Line별로 일정 수 m_k 개의 Machine이 있고 각각의 Machine에는 일정 수 l_m 명의 작업자가 있는 Flow Shop Assembly에서 여러 종류의 제품이 생산되어지는 그림 2와 같은 상황을 기본적으로 가정하였다.

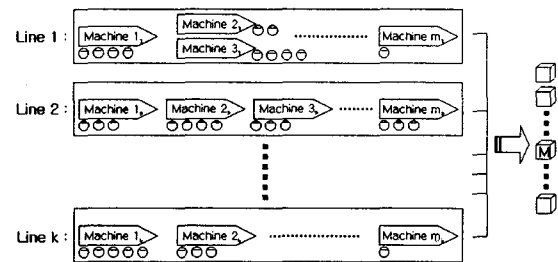


그림 2. 기본적으로 가정한 생산 시스템

직접 원가는 여러 가지 생산품이 있을 경우 각각의 단위 제품별로 제조 원가의 측정이 가능하도록 하였고, 직접 원가 측정 모델에서는 제품의 제조에 직접적으로 관련이 있는 항목만으로 구성하였다.

3.1 직접 원가의 구성

직접 원가를 구성하는 항목은 크게 직접 재료비와 직접 노무비, 직접 경비의 세 가지로 나누어진다. 직접 재료비는 제품의 제조에 들어가는 모든 원자재에 대한 비용이며, 직접 노무비는 제품의 직접적인 생산에 참여하는 작업자의 노동 비용을 의미한다. 동일한 개념으로 직접 경비는 제품의 생산에 직접적으로 사용되어지는 모든 경비를 의미하며 본 연구에서는 Machine의 Operating Cost, Repair Cost, Setup Cost를 포함하고 있다. 생산되어지는 각각의 제품별로 할당이 가능한 이러한 경비가 아닌 일반적인 Machine의 감가상각비나 전기비, 수도비와 같은 전체 관리비, 직접적으로 작업에 참여하

지 않는 작업자의 임금같은 비용들은 모두 제조 간접비에 포함되도록 하였다.

3.2 직접 원가 측정 모델

3.2.1 직접 재료비

직접 재료비 측정 모델은 다음과 같은 가정으로 이루어진다. 제품 M 은 n 개의 부분품(원자재)으로 구성되어지며 각각의 원자재 i 는 일정하게 정해진 하루 단위의 Holding Cost h_i 를 지니고 있다. 다음 식 (1)은 직접 재료비의 측정 모델을 나타낸다.

$$\text{제품 } M \text{의 직접 재료비} = \sum_{i=1}^n re_i [h_i(d_{now} - d_i) + p_i] \quad (1)$$

- n : 제품 M 의 부분품의 개수
- h_i : 부분품 i 의 하루 단위의 holding cost
- p_i : 부분품 i 의 purchase cost
- d_i : 부분품 i 의 purchase date
- d_{now} : 제품 M 의 제조 일자
- re_i : 제품 M 의 제조에 부분품 i 의 반복 회수

위 식은 제품의 제조에 들어가는 모든 부분품을 고려한 것이며 또한 모든 부분품의 원가만을 고려한 것이 아니라 부분품을 구입한 시기를 기준으로 제품의 제조가 직접적으로 이루어지는 시기까지 부분품을 재고로써 가지고 있었던 Holding Cost를 고려하고 있다. 따라서 원자재를 싸게 구입하거나 동일한 가격으로 구입하였다 하더라도 재고로써 보관하지 않고 원자재의 구입이 이루어진 후 최대한 빠른 시간 내에 제조가 이루어 질 경우 제품의 직접 재료비는 감소하게 된다.

3.2.2 직접 노무비

직접 노무비 측정 모델은 다음과 같은 가정으로 이루어진다. 제품 M 은 k 개의 Line에서 일정한 수가 생산되며 각각의 Line에는 일정한 수 l_m 명의 작업자로 이루어진 m_k 개의 Machine이 있다. 각각의 작업자는 일정량의 임금이 정해져 있다. 또한 각각의 제품 M 은 각 Line별로 상이한 각각의 Cycle Time(CT)을 측정할 수 있다. 다음 식 (2)는 직접 노무비의 측정 모델을 나타낸다.

$$\text{제품 } M \text{의 직접 노무비} = \sum_{j=1}^k CT_j \left[\sum_{m=1}^{m_k} \sum_{i=1}^{l_m} (m_v / tt_{ij}) \right] \quad (2)$$

- k : 제품 M 이 생산되는 Line의 개수
- m_k : 각 Line에 포함되어있는 전체 Machine의 수
- l_m : 각 Machine에 포함되어있는 전체 작업자의 수
- m_{ij} : Line j 의 작업자 i 의 단위 기간(month)당 임금
- tt_{ij} : Line j 의 작업자 i 의 단위 기간 당 총 작업 시간(hours)
- CT_j : Line j 에서 제품 M 의 Cycle Time(hours)

위 식은 전체 생산 Line에서 제품이 생산되어질 때 단순히 작업자의 노동 시간만을 고려한 것이 아니라 제품의 Cycle Time을 고려한 것이기 때문에 각각의 제품별로 작업자의 작업량에 따른 직접 노무비를 배분할 수 있는 장점이 있다. 또한 동일한 제품이라 하더라도 Line별로 생산되어지는 Cycle Time이 다를 경우에도 각각의 Line별로 제조 원가의 측정이 가능하기 때문에 정확한 원가 측정이 가능하다. 단위 시간당 임금이 작은 소수의 작업자가

짧은 Cycle Time으로 단위 시간당 많은 양의 제품을 생산할 경우 제품의 직접 노무비는 감소하게 된다.

3.2.3 직접 경비

직접 경비 측정 모델은 다음과 같은 가정으로 이루어진다. Line과 Machine에 대한 기본 가정은 동일하며 각각의 Machine은 정해진 Operating Cost와 Repair Cost를 지니고 있다. 또한 각각의 제품은 제품별로 정해진 Line 단위의 Setup Cost가 있으며, Master Schedule에 의해 제품별로 정해진 Line 단위의 Setup의 발생 빈도가 있다. 각각의 Line에서의 단위 제품 당 Machine의 Utilization 및 각각의 Line의 단위 시간 당 Throughput(TH)과 제품 M 의 생산 비율은 측정이 가능한 요소로 가정하였다. 다음 식 (3)은 직접 경비의 측정 모델을 나타낸다.

제품 M 의 직접 경비

$$= \sum_{j=1}^k \left[\frac{\sum_{i=1}^{m_k} (u_{ij} \times op_{ij} + r_{ij} \times rc_{ij}) + s_j \times sc_j}{TH_j \times \alpha_j} \right] \quad (3)$$

- k : 제품 M 이 생산되는 Line의 개수
- m_k : 각 Line에 포함되어있는 Machine의 개수
- u_{ij} : Line j 에서 Machine i 의 제품 M 의 단위 시간(1 day) 당 Utilization
- op_{ij} : Line j 에서 Machine i 의 제품 M 의 Operation Cost
- r_{ij} : Line j 에서 Machine i 의 단위 시간(1 day) 당 repair가 일어나는 회수
- rc_{ij} : Line j 에서 Machine i 의 repair cost
- s_j : Line j 의 단위 시간(1 day) 당 제품 M 에 의해 set up이 일어나는 회수
- sc_j : Line j 의 제품 M 의 set up cost
- TH_j : Line j 의 단위 시간(1 day) 당 전체 생산량
- α_j : Line j 에서 단위 시간(1 day) 당 생산되는 제품 M 의 비율

위 식에 의하면 제품의 생산에 의한 Machine의 Utilization과 Operating Cost가 작고 Machine 자체의 고장이 조금 일어나며 고장이 일어났을 경우 고치는 비용이 적게 들어가는 경우, 그리고 제품별 Setup이 적게 일어나면서 생산량이 많을 경우 직접 경비는 작아지는 것을 알 수 있다. 기회 비용을 따로 고려하지 않고 기회 비용과 관련된 요소들(Setup, Repair)을 직접 경비에서 고려하였다. 즉 Machine이 고장나서 작업이 일어나지 않을 경우 직접적인 비용이 들어가지 않는 것으로 가정하였기 때문에 위와 같은 식이 유도되었다.

4. 생산 시스템에서 제조 간접비 측정 모델

제조 간접비는 직접 비용에 포함되지 않은 다음과 같은 항목으로 구성되어있다.

- 감가 상각비
- 전체 관리비
- 간접 노무비

감가 상각비의 경우 단순한 회계적인 차원의 감가 상각이 아닌 각각의 Utilization을 이용하여

Machine별로 정확한 측정이 가능하도록 하였다. 전체 관리비와 간접 노무비의 경우 제조에 직접적으로 포함되지 않는 모든 비용을 고려하도록 하여 감가 상각비를 포함한 모든 제조 간접비는 전체 생산되어지는 제품에 일률적으로 분배되게 하였다. 다음 식 (4)는 제조 간접비의 측정 모델을 나타낸다.

$$\text{전체 제조 간접비} = \frac{\left(\sum_{j=1}^{t_k} \sum_{i=1}^{m_k} U_{ij} \times \frac{y d_{ij}}{W_{ij}} \right) + Tm + Il}{T_{TH}} \quad (4)$$

- t_k : 전체 생산 Line의 개수
- U_{ij} : Line j 의 Machine i 의 단위 시간(1 day) 당 Utilization
- $y d_{ij}$: Line j 의 Machine i 의 정액법에 의한 1년치 감가 상각비
- W_{ij} : Line j 의 Machine i 의 1년 동안의 작업 일수
- Tm : 전체 관리비
- Il : 간접 노무비
- T_{TH} : 단위 시간(1 day) 당 모든 제품의 총 생산량

제조 간접비의 경우 제품의 총 생산량에 일률적으로 배분이 되어야 하며 전체 관리비와 간접 노무비가 적절하게 산출되어야 한다. 또한 정액법에 의한 Machine의 회계적인 감가 상각비 보다 제조 간접비에 의한 감가 상각비가 적을 수밖에 없으므로 감가 상각비에 대한 조정이 필요하다.

5. 생산 시스템에서 제조 원가 측정 모델

5.1 직접 원가와 제조 간접비의 연관 관계

식 (4)와 3장에서 구한 직접 재료비, 직접 노무비, 직접 경비들에 대한 식(1), (2), (3)을 이용하여 전체 생산 시스템의 제조 원가를 구할 수 있다. 전체 제조 원가는 제품의 수율을 이용하여 Scrap의 기회 비용에 대한 부분을 첨가하여 다음과 같은 식 (5)로 유도된다.

$$\text{제조 원가} = (4) + [1 + (1 - Y_M)] \times (1 + \frac{\text{Scrap}}{\text{생산량}}) \times \text{제조} \quad (5)$$

Y_M : 제품 M 의 수율(Yield)

제품의 수율을 이용하여 직접 원가에 불량률을 고려하여 추가적인 비용을 계산한 후 간접비용으로 추가되어지는 모든 비용을 전체 제품에 고르게 분배하는 방식으로 제조 원가를 구하였다. 이러한 방식은 직접 제조비에서 생산 시스템의 주요 성능 요소인 Utilization, Throughput, Yield, Cycle Time, Production Schedule 등을 고려할 수 있기 때문에 생산 시스템의 성능과 관련하여 제품의 제조 원가를 분석할 수 있는 장점이 있다.

5.2 생산 시스템의 성능에 따른 제조 원가와와의 상관관계

앞에서 제안된 제조 원가 식에 의하면 전체 생산 시스템의 TH가 증가할수록 직접 경비가 감소하게 되며, CT가 증가할수록 직접 인건비가 증가하게 된다. 또한 Machine의 Utilization의 증가는 부분적으로 직접 경비와 간접 제조비의 증가를 초래하지

만 일반적으로 시스템적인 면에서는 TH 증가와 CT 감소에 크게 기여하므로 전체적인 제조 비용의 감소를 초래할 것이다. 마찬가지로 전체 TH의 증가는 제조 간접비를 감소시키기 때문에 Utilization의 증가에 따른 전체 제조 비용의 증가보다는 감소량이 더 클 것이다.

6. 결론

본 연구에서 제안된 모델은 생산 시스템의 주요 성능 요소인 Utilization, Throughput, Yield, Cycle Time, Production Schedule 등을 고려할 수 있기 때문에 생산 시스템의 성능과 관련하여 제품의 제조 원가를 분석할 수 있는 장점이 있다. 하지만 감가 상각의 경우 회계적인 부분과의 조정이 필요하다. 또한 직접적으로 생산에 쓰여지는 비용과 간접적으로 포함되는 비용을 따로 분석하였기 때문에 각각의 원인에 따른 제조 원가의 영향을 단계적으로 분석할 수 있다.

그러나, 생산 시스템의 성능과 제조 비용에 대한 관계를 도출해낸 반면 실제적인 관계의 파악이 아직 미흡하다. 따라서 분석적인 방법론이나 실험적인 방법론을 통하여 이러한 상관관계에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

7. 참고 문헌

- [1] 유일근, 원가 측정과 분석, 시그마 프레스, 1997.
- [2] Carl J. Bloch, Ranga Ranganathan, "Process-Based Cost Modeling", IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Vol. 15, No. 3, Jun 1992.
- [3] Daren L. Dance, Thomas Di Floria, and David W. Jimenez, "Modeling the cost of ownership of assembly and inspection", IEEE Transactions on Components Packaging & Manufacturing Technology Part C, Vol. 19 No. 1, Feb 1996.
- [4] Michael Scheffler, Daniel Ammann, Andreas Thiel, Claus Habiger, Gerhard Tröster, "Modeling and Optimizing the Cost of Electronic System", IEEE Design & Test of Computers, Vol. 15 No. 3, Sep 1998.
- [5] Y.S.Chang, C.K.G.Tjiang and C.B.Besant, "Cost Analysis for Semiconductor Wafer Fabrication", Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Industrial Engineering, Nov 1997.
- [6] Arnick N.A.M. Boons, "Product Cost for Complex Manufacturing Systems", International Journal Production Economics 55, 241-255, 1998.
- [7] S. G. Shina, A. Saigal, "Technology Cost Modeling for the Manufacture of Printed Circuit Boards in New Electronic Products", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 120, 368-375, May 1998.
- [8] D. Kiritsis, K. P. Neuendorf, P. Xirouchakis, "Petri net Techniques for Process Planning Cost Estimation", Advances in Engineering Software 30 375-389, 1999.