

RAM을 고려한 복합 생산시스템의 최적설계 및 평가방안의 연구*

A Study on a RAM-Based Model for Integrated Automatic Manufacturing
System Design and Performance Evaluation*

황 흥 석**

Hwang Heung Suk**

Abstract

The objective of this study is to develop a general design and performance evaluation model for the system designers in the initial design phase of the integrated automatic manufacturing system based on the RAM(Reliability, Availability and Maintainability) and life cycle cost(LCC).

The methodology proposed in this research includes the following two stages. First, a deterministic approach to the solution of optimal work station arrangement for the initial system configuration is considered under the assumption that the system availability is one(no failure and maintenance), and then a stochastic simulation model based on RAM and LCC is developed. Using the results of these two stage simulation, a system performance index(SPI) was developed for the performance evaluation of the proposed system. Also a computer program is developed.

1. 서론

본 연구는 복합 생산시스템의 설계시 시스템의 RAM 환경 및 비용(LCC)을 고려한 최

적시스템의 설계 및 성능평가를 위한 분석 Model의 연구이다. 이를 위하여 시스템의 고장 및 정비 자료로부터 가용성의 산정과 시스템의 순기비용을 추정하는 시뮬레이션

* 본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구비 지원계획에 의하여 수행되었음

** 동의대학교 산업공학과

Model을 개발하고 이를 활용하여 시스템 평가지수(System Performance Index: SPI)를 산정하였다. 본 연구는 복합 생산시스템의 생산능력, 비용 및 가용도 등을 함께 고려한 최적 설계 및 평가방안으로 활용될 수 있을 것이다. 유연생산시스템(FMS)은 일반적으로 고투자비와 장기간의 효과기대 및 설비 사용률의 재고가 계획단계에서부터 요구된다. 즉 설비의 높은 활용율, 제조과정의 중간재고(WIP)의 감축, 높은 융통성 및 정확한 통제 등이 요망된다. 따라서 시스템의 설계시 부터 시스템의 가용성(Availability)을 높이도록 하는 것이 매우 중요시 되고있다[1].

본 연구는 고장과 정비 및 기타 서비스 환경하에서 시스템의 생산능력을 높이기 위하여 시스템의 가용성 및 시스템의 비용(Life Cycle Cost)을 산정하여 시스템의 최적설계 및 운영조건을 제시하는 문제의 연구이다. 이를 위하여 다음과 같은 방법으로 연구가 추진되었다.

1) 생산능력(Production Rate)의 추정을 위하여 초기 설계 시스템의 구성과 관련된 자료로부터 CAN-Q[13]를 이용하여 초기 시스템의 생산능력, 생산시간 자료(작업,운반 및 대기시간) 및 시스템의 애로공정(Bottleneck Sub-System)을 계산하고, 2) RAM과 LCC을 고려한 시뮬레이션을 이용하여 생산시스템(또는 Sub-System)의 가용성, 비용 및 이의 Sub-System의 구성과 관련한 효과를 계산하며, 3) 위에서 계산한 결과들로부터 시스템 평가지수(SPI) 즉, 시스템의 평균가용도(Average System Availability), 가용단위시간당 비용(Cost Rate Value), 단위 생산량당 비용(Life Cycle Cost per Unit) 및 순기비용의 현

가(PW)등을 계산하여 변경설계 및 운영의 각종 의사결정을 지원하며, 4) 위의 결과들로부터 변경설계(Sub-System의 증감, 대기중복시스템의 준비)를 하여 최적해를 얻는다. 여기서 대기중복시스템(Standby Redundancy System)은 예비시스템으로써 보관, 설치(미사용) 및 설치(사용) 등 3가지 형태로 구분하여 고려하였다.

본 연구에서는 기존의 가용도의 개념보다 시스템설계 및 운영시의 주요 의사결정지원의 효율성 문제를 고려한 융통성 있는 가용성(Flexible Availability)을 고려하였으며, 위의 각 단계의 계산을 위한 전산프로그램을 개발하였으며 이의 시험적용 결과를 제시하였다.

2. 연구범위 및 시스템개요

2.1 연구 범위

복합 생산시스템에서 각종 설계변수들이 많아지고 복잡하게 연관되어짐에 따라 시스템의 평가모델의 필요성이 매우 커지고 있다. 이러한 시스템 평가방법으로 대기행렬네트워크(Queueing-Network) Model과 시뮬레이션 Model로 분류할 수 있으며, 이러한 분석기법들을 이용하여 복합 생산시스템의 설치 운영 이전 단계에서부터 분석되어야 한다[15].

복합 생산시스템의 설계과정에서 시스템구성과 적정능력설계 및 평가를 위하여 많은 분야의 평가방법들이 연구 되어왔다[14]. 이러한 연구들을 종합하면 통합 생산시스템의 성과평가 방법으로; 1)성과측정(Performance Measurement)과 2)성과모델링(Performance Modeling)으로 구분될 수 있으며, 이중 성과측정분

야는 주로 시스템 운영차원에서의 측정으로, Nagarur[10]는 이를 위하여 다음 8가지 분야의 평가측정을 강조하였다. 즉 제조기간 (Manufacturing Lead Time), 중간 제품수량 (Work-in-process), 설비사용율(Machine Utilization), 단위기간당 생산율(Throughput), 설비능력(Capacity), 유연성(Flexibility), 신뢰도/가용도(Performability) 및 품질(Quality)등이다. 다음으로 성과모델링(Performance Modeling)분야는 주로 시뮬레이션 Model과 분석적인 모델 (Analytic Model)로 구분할 수 있으며 주요 시뮬레이션 Model로서 SIMSCRIPT, GPSS, SLAM, GASP, SIMAN 및 최근의 FACTOR/AIM[11] 등을 들수 있다. 특히 FACTOR/AIM은 복합 생산시스템의 분석 모델로서 본 연구에서 확장 응용할 계획이다. 다음으로 분석적인 모델 (Analytical Model)로서 많은 Package들이 개발되어 있으며 이중 중요한 것을 들면 CAN-Q, SIM-Q, MVAQ 및 MANUPLAN등을 들수있다. 이중 CAN-Q는 본 연구의 초기해를 구하기 위하여 활용하였다. 통합 생산시스템의 최적 설계를 위하여 먼저 총괄 생산계획과 제조 품목이 Group화 되고, 생산시스템내의 모든 설비비용 요소와 정비, 고장 및 신뢰도 자료들이 주어져 있다고 가정하고, 생산비용의 관점에서 각 단위 작업장(Work station)의 적정규모를 결정하는 모델을 개발하고 이의 성능평가를 위한 시뮬레이션 Model의 개발을 위한 연구이다.

2.2 시스템 구성

통합생산의 주요 구성요소를 다음과 같이 들 수 있다[17]: 즉 1)단위작업장, 2)물류시

스템(Material Handling System, 3)작업중의 운반기구(Shuttles), 및 4)전산통제(Computer Control) 등이다. 여기서 생산시스템을 여러 개의 단위작업장으로 구성된 복합 생산시스템으로 볼 경우, 시스템 구성을 다음과 같이 표시할 수 있다:

1) 자동 물류 시스템을 고려한 유연생산시스템(FMS)의 구성

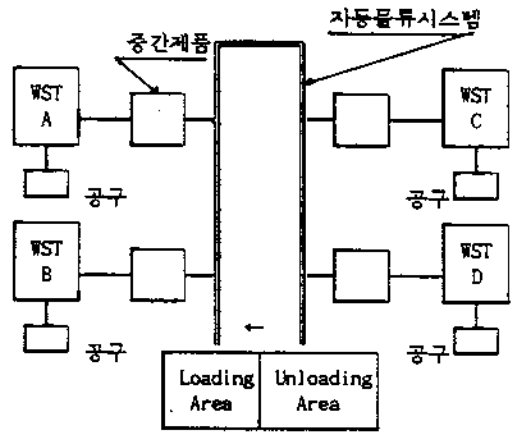


그림 1. 유연생산시스템(FMS)의 기본구조

2) 중앙집중식의 시스템구조단위 작업장 구조

기타 작업 및 장비의 특성에 따라 여러가지 시스템 구성을 고려 할 수 있으나 본 연구에서는 시뮬레이션 목적으로 단위작업장이 다음과 같이 직렬,병렬 및 대기중복(Standby Redundancy)시스템 구조를 고려 하고 다음 단계로 복잡한 구조로 확장해가기로 하였다.

3) 대기중복 시스템(Standby Redundancy System)

본 연구에서는 복합 시스템의 개선을 위하여 하부시스템(또는 Component)에 고장대기 시스템을 두어 기본시스템의 고장시 대체 운

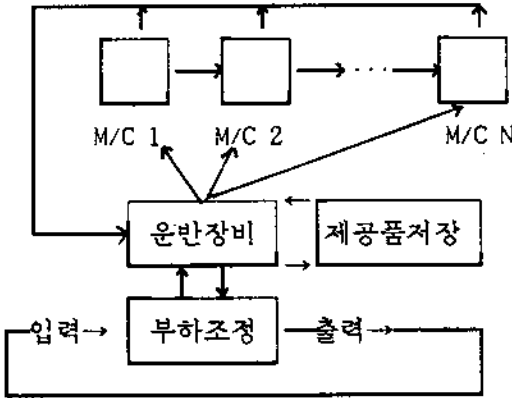


그림 2. 중앙 집중식 배치의 개념구조

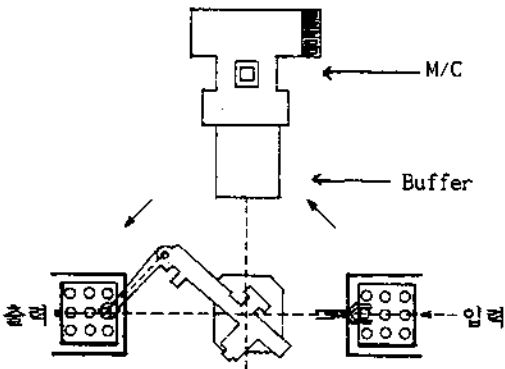


그림 3. 로봇트를 이용한 단위작업장 구조

용하도록 다음과 같이 3가지 유형의 대기시스템을 도입하였다[9].

- 1) 설치·사용 예비 시스템 (Hot Standby),
- 2) 설치·미사용 예비 시스템(Warm Standby),
- 3) 미설치 보관 예비 시스템(Cold Standby).

이러한 대기중복시스템은 기본 서브-시스템 (Basic Unit)의 고장이 바로 대체가능하게 되므로 시스템 신뢰도와 가용도를 올리는 효과가 크며, 본 연구에서 이러한 시스템의 평가를 위한 시뮬레이션에 본 개념을 활용하였

다.

3. 시스템의 RAM 및 비용산정

3.1 시스템의 RAM 계산

생산설비의 고장은 설비의 전 순기(Life-time) 동안에 언제나 발생할 수 있다. 즉, 신뢰도는 설비의 여러 단계(개념형성단계, 설계·개발단계, 제조·설치단계 및 사용·정비단계)에서 신뢰도를 어떻게 개선하느냐 하는 문제이다. 생산설비의 신뢰도는 발주-폐기(Birth-to-Death)의 문제로서의 시스템의 운영신뢰도, R_O (Operational Reliability)이며 이는 설계 및 제작과정에서의 정해진 고유신뢰도, R_D (Inherent Reliability)와 사용신뢰도, R_U (Use Reliability)로 구성된다[9]. 여기서는 시스템의 RAM개념의 정립과 가용도 산정을 위하여 다음과 같은 기본수식을 사용하였다.

본 연구에서 고려한 시스템의 신뢰도(Reliability)는 다음과 같은 2가지의 의미를 가진다. 즉 넓은 의미에서 생산시스템의 설계, 제작, 제품의 생산작업 및 사용자의 기대등을 포함한 의미로 사용되며, 좁은 의미에서 보면 신뢰도, $R(t)$ 는 주어진 작업 조건하에서 시간, $[0,t]$, 동안에 일정수준 이상의 품질제품을 생산할 수 있는 확률로 표시된다.

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \Pr\{TTF > t\} \\
 &= 1 - \Pr\{TTF \leq t\} \\
 &= 1 - F(t)
 \end{aligned}$$

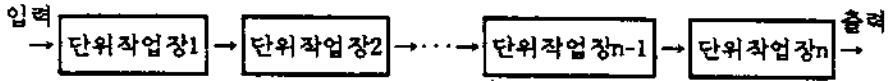
TTF : Time to Failure

MTTF : Mean Time to Failure

MTBF : Mean Time Between Failure

$$MTTF = E\{TTF\} = E\{x\}$$

1) 직렬 시스템 Series System)



2) 병렬 시스템(Parallel System)

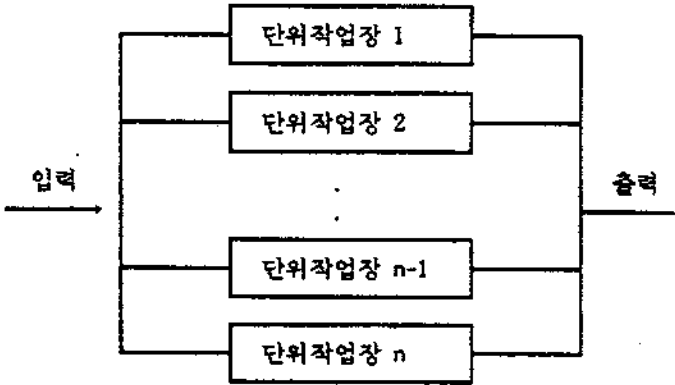


그림 4. 병렬 및 직렬 시스템

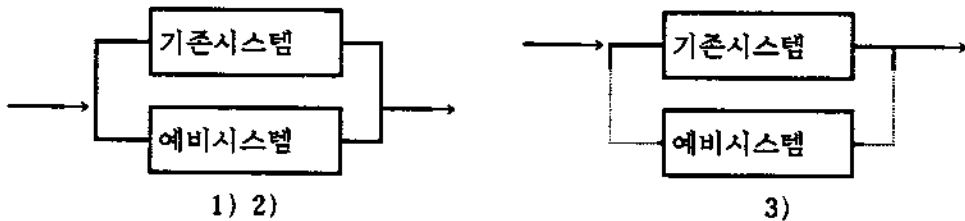


그림 5. 설치사용 대기시스템

$$= \int_0^{\infty} x f(x) dx$$

여기서 MTTF는 정비 및 재생할 수 있는 시스템에 주로 적용되고, 반면 MTBF는 정비 및 재생 불가능한 시스템에 사용된다.

정비도, $M(t)$ 의 개념은 생산시스템(또는 Components)이 고장발생시부터 특정기간내에 작동되는 확률로 표시하였으며 다음과 같은 수식으로 표시된다.

$$M(t) = \Pr[TTR < t]$$

$$= \int_0^t g(s) ds$$

$$= G(s)$$

$$MTTR = \int_0^{\infty} y \cdot g(y) dy$$

MTTR : Mean Time to Rapair

여기서 고장시간 및 정비시간 분포 $f(x)$ 및 $g(x)$ 는 관련 Data로부터 추정된 확률분포이다. 본 연구에서 고려된 정비도(Maintainability)

는 다음 2가지를 고려하였다. 그 하나는 계획정비(PM)이고 다른 하나는 수시정비(Corrective Maintenance)이다. 경우에 따라서 이들 2가지를 혼합하여 고려할 수 있도록 하였다. RAM분석에서 가장 많은 시간을 요하는 부분이 고장(Failure)과 정비(Maintenance)시간의 분포를 예측하는 문제이다[5]. 이러한 예측 방법중 가장 간단한 것이 고장 및 정비기간이 상수로 주어진 경우이고, 다음이 RAM 분석에 쓰이는 가장 간단한 분포가 지수분포이다. 위의 신뢰도와 정비도로부터 시스템의 가용도를 구할 수 있으며, 이는 일반적으로 요구되는 사용기간동안 만족스럽게 가동되는 시스템의 시간비율로서 정의된다. 이를 다음과 같이 3가지 개념으로 표시할 수 있다:

1) 순간 가용도(Instantaneous Availability)

$$a(t) = E[Z(t)]$$

$$= 1 \cdot \Pr[Z(t)=1] + 0 \cdot \Pr[Z(t)=0]$$

$$= \Pr[Z(t)=1]$$

여기서, $Z(t) = \begin{cases} 1, & t \text{ 순간에 시스템이 가용할 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$

2) 평균 가용도(Average Availability)

$$A(t_1, t_2) = 1/(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt$$

$t_2 - t_1$: 요망되는 기간, $t_2 > t_1$

3) 균형 가용도(Equilibrium Availability)

A_e : 고려된 기간이 충분히 클 경우, 시스템이 가용상태일 확률

본 연구의 시뮬레이션을 위하여 가용도의 계산을 다음과 같은 수식을 사용하였다.

$$A_t = \frac{\text{기간}(0,t)\text{동안의 총 동시간}}{\text{총 동시간} + \text{총 정지시간}}$$

$$= \frac{(0,t)\text{동안의 총 동시간}}{\text{Cycle Time}}$$

$$A_e = \lim_{t \rightarrow \infty} E \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_N(t)}{D_1 + D_2 + \dots + D_N(t) + D_1 + D_2 + \dots + D_N(t)}$$

$$= \frac{E[R]}{E[R] + E[D]}$$

여기서,

R_i : i 번째의 시스템이 가동상태에 있을 시간길이를 나타내는 확률 변수

D_i : i 번째 기간에 시스템의 Down Time의 길이를 나타내는 확률변수

단위 작업장의 고장(Failure) 및 정비(Repair)가 지수분포를 따를 경우의 가용도, $A(t)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다:

고장시간분포 $f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad 0 \leq \lambda \leq \infty$

정비시간분포 $g(x) = \mu e^{-\mu x} \quad 0 \leq \mu \leq \infty$

λ : 고장율(Failure Rate : 단위시간당 고장)

μ : 정비율(Repair Rate : 단위시간당 정비)

$$MTTF = E[x] = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTTR = E[x] = \frac{1}{\mu}$$

그림 6.2에서와 같이 설비의 고장과 가동만을 고려한 2상태시스템 Model(2-State Failure -Repair Markov Chain Model)에서 가용도를 구하는 수식을 전개하였다.

여기서 0 : 단위작업장이 가용상태에 있는 경우,

1 : 단위작업장이 불가용상태에 있는 경우이다.

단위작업장의 가용도는 다음 Matrix형태로

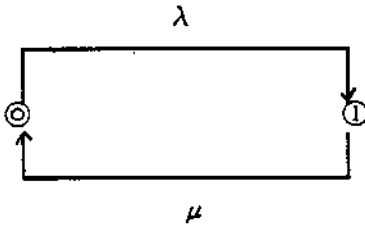


그림 6. 2-상태의 고장 정비 시스템

주어진다.

$$\begin{pmatrix} \frac{dP_0(x)}{dx} \\ \frac{dP_1(x)}{dx} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\lambda & +\mu \\ +\lambda & -\mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_0(x) \\ P_1(x) \end{pmatrix}$$

여기서 초기조건은 $P_0(0) = 1, P_1(0) = 0$ 이며, Laplace Transform에 의해서 위 식은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$Ps(s) = (sI - P)^{-1} Ps(0)$$

$$\text{여기서, } P = \begin{pmatrix} -\lambda & +\mu \\ +\lambda & -\mu \end{pmatrix},$$

$$Ps(s) = \begin{pmatrix} \frac{s + \mu}{s(s + (\lambda + \mu))} \\ \frac{\lambda}{s(s + (\lambda + \mu))} \end{pmatrix}$$

위 식을 Inverse Laplace Transform 을 취하면,

$$P(X) = \begin{pmatrix} \frac{\mu}{\lambda + \mu} \mu(x) + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)x} \\ \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \mu(x) - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)x} \end{pmatrix}$$

여기서 State 0에 있을 확률 즉 설비가 가

동상태에 있을 확률, $A(x)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$A(x) = P_{0(x)} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \mu(x) + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)x}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} A(x) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

3.2 시스템의 순기비용산정

본 연구에서는 통합 생산시스템의 평가를 위한 시스템비용의 기본개념과 비용예측을 위하여 순기비용(LCC) Model을 개발하였다. 시스템의 고정비와 운영비를 산정하고 시스템효과(생산능력, 및 가용도등)와 순기비용의 관계식을 도출하여, 통합 생산시스템의 설계에 활용하였다. 순기비용의 산정은 매우 광범위하게 연구되어 왔으며, 다음과 같이 관련 비용요소를 고려하였다[6]. 고정비용(Fixed Cost), 변동비용(Variable Cost), 획득비용(Acquisition Cost), 운영비용(Operation Cost) 및 정비유지비용(Maintenance Cost) 등이다[7].

본 연구에서는 위의 순기비용 요소를 다음과 같이 고정비와 변동비로 구분하고 정비비 및 간접비를 고려하여 계산하였으며, 시스템의 순기비용 개념과 비용 요소 및 이의 산정을 위한 비용계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} TSCCT &= \text{고정비} + \text{변동비} \\ &= \text{고정비} + \text{수정 정비비} + \text{총 예방 정비비} + \text{간접비} \\ &= C_A + \sum_{j=1}^n C_j(t) + B_j * CP_j(t) \\ &\quad + LCOS \end{aligned}$$

$$C_A = C_F + \sum \sum CAP_j * \text{Exp}(-r_{ij})$$

$$LCOS = \sum \alpha_1 * C_j(t) + \alpha_2 * B_j * CP_j(t)$$

$$\begin{aligned}
 TLCC &= C_F + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{M_i} CAP_j * [Exp(-rt_{ji})] \\
 &+ \sum_{j=1}^n \alpha_1 * \sum_{k=1}^{N_j(t)} a_j * V_{jk} Exp[-rT_k] \\
 &+ \sum_{j=1}^n \alpha_2 * B_j \sum_{i=1}^{K_j(t)} a_j * Y_{ji} Exp[-rT_i]
 \end{aligned}$$

$$= \frac{TCOST}{A_e \cdot t \cdot R}$$

$$\begin{aligned}
 COA &= \frac{\text{순기비용의 현재}}{\text{총 생산 가용시간}} \\
 &= \frac{COS_i(t)}{a_i(t) \cdot t}
 \end{aligned}$$

- 여기서, C_F : 초기 시스템 투자비,
- $C_j(t)$: 총 정비비,
- B_j : 1 또는 0 (예방정비시 1),
- $CP_j(t)$: 총 예방 정비비,
- LCOS : 총 물품지원비,
- CAP_j : j 부분품의 획득비용,
- α_1, α_2 : 수정 정비비용 비율, 예방 정비비용 비율,
- r : 이자율,
- t_{ji} : 현 시점과 j Component의 i부품의 단위 획득사이의 시간간격,
- Y_{ji} : i번째 예방정비를 위한 j Component의 Down시간(확률변수).

COP는 설계대안 분석시 주로 단일제품 생산시에 유용하게 이용되며 다음과 같이 대안 선정을 위한 수식을 사용하였다.

$$i^* = \text{Min} [COP(i), i = 1, 2, \dots, L]$$

COA는 주로 다제품 생산시에 유용하게 이용되며 대안 선정에 다음과 같은 수식을 사용하였다.

$$i^* = \text{Max} \left[\frac{1}{COA(i)}, i = 1, 2, \dots, L \right]$$

- 여기서, L : 설계대안 인수,
- $a_i(t)$: 기간 $(0,t)$ 동안에 단위작업장 i 에서 발생한 LCC의 현재가,
- $COS_i(t)$: 기간 $(0,t)$ 동안에 단위작업장 i 의 가용시간 이다.

4. 시스템 설계 및 평가 모델

4.1 기본 개념

통합 생산시스템 설계시 통상 요망가용도의 충족 및 최저비용 설계 등에 근거를 두고 의사결정을 한다. 생산시스템의 정지시간, 정비 및 교체등이 시스템 비용증대의 주요 요소가 된다. 효과적인 생산시스템 설계는 시스템의 순기비용과 가용성을 동시에 고려한 최적설계 대안분석을 위하여, 다음과 같은 단위생산량의 순기비용(LCC of Product:COP) 및 가용성비용(LCC of Availability:COA)를 계산 활용하였다.

$$COP = \frac{\text{순기비용의 현재}}{\text{순기 생산량}}$$

복합 생산시스템의 최적설계 및 평가를 위하여 시스템을 구성하는 설비의 가용성을 높이는것이 중요하며, 시스템의 생산성을 높이기 위하여 그림 7과 같은 시스템의 가용도 및 순기비용을 산정하여 동시에 고려한 모델을 개발하였다.

4.2 시뮬레이션 모델

통합 생산시스템의 최적설계 및 평가를 위하여 그림 7의 개념에 따라 다음과 같이 2단계의 시뮬레이션 모델을 개발 활용하였다. 그림 8에서와 같이 2단계 시뮬레이션 구조에서 단계 1에서는 생산설비의 고장이 없는 경우

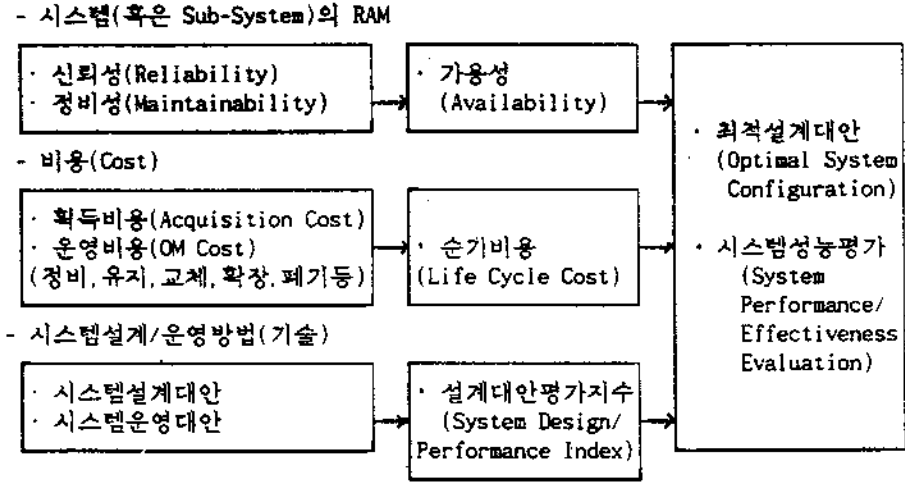


그림 7. 시뮬레이션 모델 개념

($A_e=1$)를 가정하여 초기 시스템 및 개선시스템을 구하고, 단계 2에서는 RAM관련 자료 및 시스템의 비용 자료를 고려하여 시스템 성능평가지수(SPI)를 산정하여 최적 시스템을 구한다.

단계 1. 확정적 시뮬레이션(Deterministic Simulation) :

초기시스템의 평가를 위하여 생산 설비가 항상 가동상태에 있다고 가정($A_e=1$)하고 CAN-Q 모델을 이용하여 다음 내용들을 계산하였다.

- 1) 초기 시스템의 구성(First Guess Machine),
- 2) 시스템의 생산능력(Production Rate),
- 3) 작업시간 자료(Process Time),
 - 평균 System내의 지체시간(Average Time in System),
 - 실제 작업처리 시간(Process Time),
 - 운반시간(Traveling Time),
- 4) 애로공정(Bottleneck),
- 5) 작업 품목 및 작업설비 선정(Part/Ma-

chine Selection)

6) 최적 시스템 구성

위의 시뮬레이션 결과에 따라 시스템은 재설계(Re-Design)되며 개선된 대안으로 다시 분석된다.

단계 2. RAM과 LCC을 고려한 확률적 시뮬레이션(Stochastic Simulation):

단계 1에서 고려하였던 설비의 가동률이 1인 경우는 설비가 전혀 고장이 나지않은 경우이다. 이 단계에서는 통합생산 설비의 고장 및 정비자료로부터 시스템의 가용도를 산출하고, 설비의 구성 및 운영자료로부터 순기비용(LCC)을 산출하여 시스템의 최적구성과 성능을 평가하였다. 본 단계의 시뮬레이션을 위하여 다음 가정사항들이 주어진다;

- 1) 최초 시스템은 가동 혹은 정지의 2가지 상태,
- 2) 각 구성설비의 고장은 서로 독립적으로 발생하고 정비된다.
- 3) 고장 및 정비시간의 분포는 추정 가능

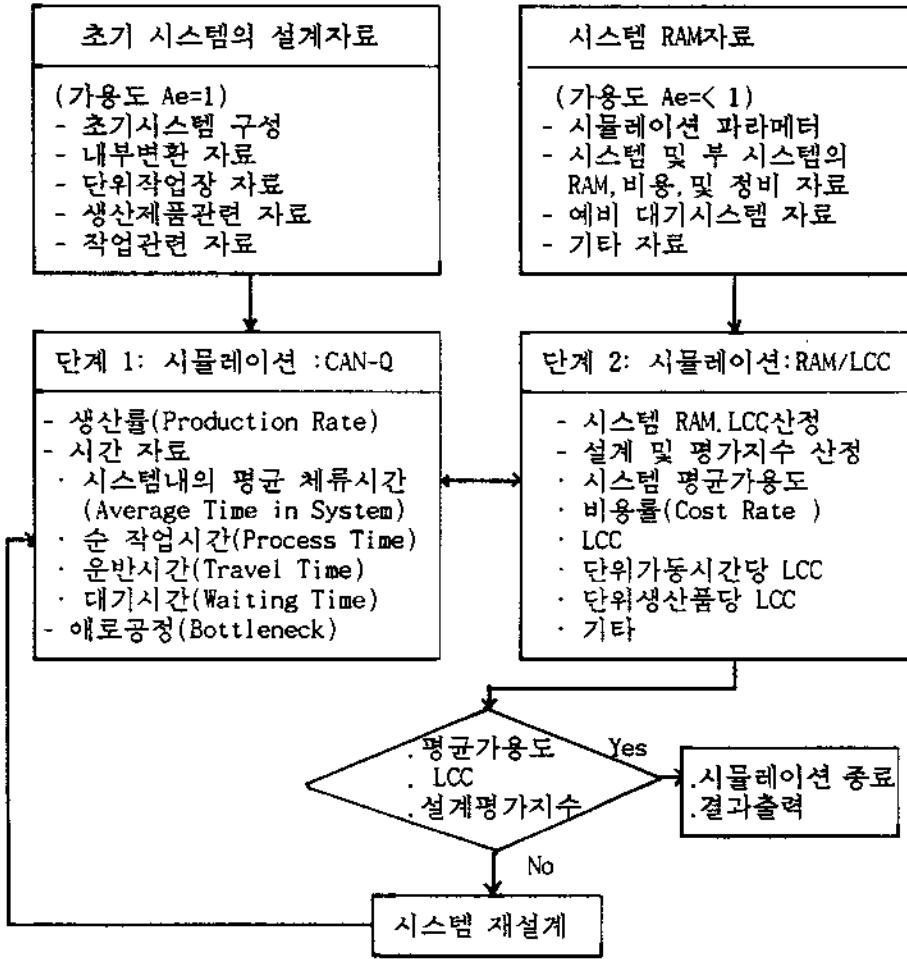


그림 8. Simulation 구성

하며, 고장수리 이후 신부품과 같은 기능을 유지한다,

- 4) 예비 대기시스템은 3가지 유형(연결사용, 연결미사용 및 보관)중 한가지를 선택한다,
- 5) 각 단위작업장에서 대기이론에 따른 서비스를 받으며, 정비 및 고장 과정도 대기이론을 따른다,
- 6) 고장과 정비등의 상황변화는 주어진 확

률분포로부터 결정된다.

본 단계의 시뮬레이션을 위하여 전산프로그램을 개발하였으며, 시스템과 시뮬레이션 관련계수, 구성설비자료, 비용 자료 및 생산 규모관련 자료의 입력 자료들로부터 시스템의 가용도, LCC 및 생산시간관련 자료를 구하여 시스템 평가지수(SPI)를 산정하여 최적 시스템 구성과 시스템 성능평가를 하였다. 본

시뮬레이션의 흐름도를 그림 9에 요약하였다.

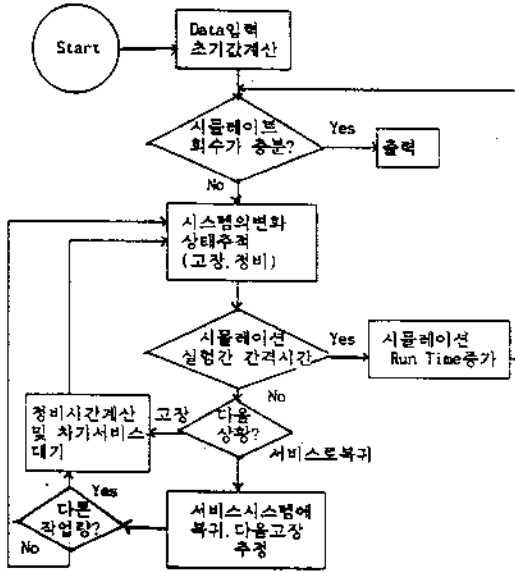


그림 9. 시뮬레이션 흐름도

5. 모델의 시험적용

본 시뮬레이션 Model의 시험적용 목적으로 2가지 제품을 생산하는 다음과 같은 통합생산의 최적설계 및 평가문제에 응용하였으며, 본 Model의 타당성 및 가능성을 시험 하였다. 다음과 같이 직렬로 연결된 생산시스템의 각 단위작업장의 설비구성과 생산제품(A, B 두 Type)의 작업시간 자료등이 다음 표와 같이 주어졌다.

위의 생산시스템의 분석을 위하여 다음과 같이 두 단계의 시뮬레이션을 고려하였다.

단계 1 : CAN-Q를 이용한 초기 시스템 분석을 위한 시뮬레이션:

RAM Data 및 비용은 고려하지 않았으며 시스템의 평균 가용도를 $A_e=1$ 로 가정하고,

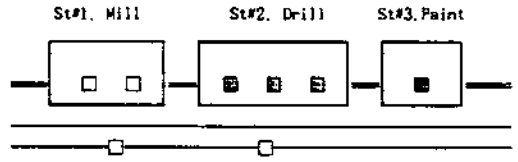


그림 10. Sample 생산시스템

표 1. 설비의 초기구성

St.	설비명	Server 수
1	Mill	2
2	Drill	3
3	Paint	1
4	수송	2

표 2. 제품별 작업시간 자료

제품	작업	St.	기간	빈도
A	1	1	20.0	1
	2	2	30.0	1
	3	3	15.0	0.5
	4	1	14.0	1
B	1	2	90.0	1
	2	1	90.0	1

위의 Data로부터, 시스템의 생산능력, 생산제품의 비용, 제품의 생산소요시간(작업, 운반, 및 대기시간으로 구분)을 계산하고 각 단위작업장의 설비의 사용률과 애로작업장(Bottleneck Workstation)을 구하여 개선 시스템을 설계한다. 단계 1의 CAN-Q를 이용한 초기 시스템의 분석 결과의 일부가 표 3과 같다. 여기서 초기 시스템으로부터 애로공정의 단위작업장의 설비를 증가시키면서 시행한 생산율(Production Rate)과 작업시간 자료의 민감도분석 결과가 표 4 및 그림 11과 같다.

표 3. CAN-Q Sample Output

INPUT DATA SUMMARY

STATION	NUMBER OF SERVERS	VISIT FREQUENCY	AVERAGE PROCESSING TIME	RELATIVE WORKLOAD	WORKLOAD PER SERVER
1 MILL	1	.25000	1.00000	.25000	.25000
2 DRILL	1	.50000	2.75000	1.37500	1.37500
3 paint	1	.25000	.75000	.18750	.18750
4 TRANS	20	.25000	1.00000	1.00000	.05000

NUMBER OF ITEMS IN SYSTEM = 20

SYSTEM PERFORMANCE MEASURES

PRODUCTION RATE = 10.909 ITEMS PER HOUR

PRODUCTION RATES BY PRODUCT TYPE

	NUMBER	VALUE
PRODA	5.455	81.818
PRODB	5.455	545.455

TOTAL VALUE = 627.273

AVERAGE TIME IN SYSTEM = 110.00 MINUTES

PROCESSING	7.25
TRAVELING	4.00
WAITING	98.75

FUNCTIONS OF N. NUMBER OF ITEMS IN SYSTEM

N	PRODUCTION RATE	AVERAGE TIME IN SYSTEM
.	5.333	11.250
.	.	.
.	.	.
15	10.909	82.500
16	10.909	88.000
17	10.909	93.500
18	10.909	99.000
19	10.909	104.500
20	10.909	110.000
21	10.909	115.500
22	10.909	121.000
23	10.909	126.500
24	10.909	132.000
25	10.909	137.500
.	.	.
.	.	.
INF	10.909	INF

THE BOTTLENECK STATION IS 2
STATION PERFORMANCE MEASURES

STATION NUMBER	STATION NAME	SERVER UTILIZATION	AVE. NO. OF BUSY SERVERS
1	MILL	.182	.182
2	DRILL	1.000	1.000
3	paint	.136	.136
4	TRANS	.036	.727

표 4. 시스템 생산률(Production Rate)의 민감도 분석

Sys. 구분	초기 Sys.	1차 개선	2차 개선	3차 개선	4차 개선	5차 개선
Sys. 구성	Mill 1	1	1	1	1	1
	Drill 1	2	3	4	5	6
	Paint 1	1	1	1	1	1
생산률(Item/Hr)	10.909	21.818	32.725	43.434	52.088	56.425
평균시간	110.00	55.00	36.67	27.63	23.04	21.27
- Process	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25
- Traveling	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
- Waiting	98.75	43.75	25.42	11.79	11.79	10.02
Bottleneck St.	St.2	St.2	St.2	St.2	St.2	St.2

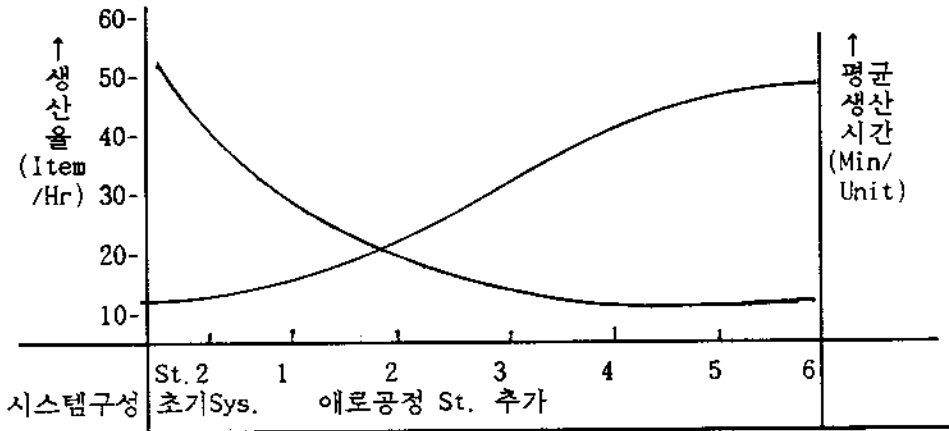


그림 11. 시스템 구성에 따른 성능비교

단계 2 : RAM 및 LCC를 고려한 확률적 시뮬레이션:

위에서와 같이 가용도($A_e=1$) 및 순기비용을 고려하지 않을 경우의 CAN-Q를 이용한 시뮬레이션 결과를 보면 초기 시스템은 생산률 10.0 Item/Hr, 평균 작업품당 처리시간이 110.00 Min/Item 이었으나 애로작업, St.2의 설비를 증가시킬 경우 생산률은 21.27 Min. Item 으로서 단위 작업품당 처리시간, 56.4 Item/Hr로 개선됨을 볼 수 있다. 그러나 고장 및 정비와 관련된 RAM 및 비용(LCC)을

고려할 경우에는 다른 결과를 나타냄을 볼 수 있다.

이를 위한 시뮬레이션을 위하여 다음과 같은 입력 자료를 사용하였다.

단계 2의 시뮬레이션 입력자료:

- Simulation Input Data:

- 총 시뮬레이션 기간 : 1,000시간
- 각 단위 시뮬레이션 간격 : 100시간
- 서브시스템수 : 3
- 정비요원의 수 : 2

시스템 획득비용(추정) 20,000(천원)
 정비요원의 평균임금률 : 8.5(천원)
 정비비용중 재료비 비율(계획정비:PM) :
 50%
 정비비용중 재료비 비율(수정정비) :
 50%

표 6. 초기 시스템의 Sample Output.

SYSTEM AVERAGE AVAILABILITY-- 5829294
 COST RATE VALUE----- 77.9010800 \$ PER HR
 LIFE CYCLE COST PER UNIT-- 2.5967 PER UNIT
 PRESENT WORTH LIFE CYCLE COST-- 45512.0800

SYSTEM COST BREAKDOWN TABLE

 TOTAL CAPITAL COST.-----\$ 21900.000
 OPERATING COST:
 TOTAL CORRECTIVE MAINTENANCE COST--\$ 1491.752
 TOTAL PREVENTIVE MAINTENANCE COST--\$ 47.401
 TOTAL MATERIAL COST-----\$ 172.879

- 단위 작업장별 설비획득비 관련 Data;

초기획득비용 : Mill 500(천원)
 Drill 1,100(천원)
 Paint 300(천원)

예비대기(Standby) : Mill 1,100(천원)
 Drill 1,100(천원)

- 고장(Failure) 및 정비(Maintenance) 관련 Data; 고장 및 정비시간 분포를 지수 및 정규분포로 가정하고 다음 표 5에서와 같이 각 파라미터의 값을 주었다.

COMPONENT AVAILABILITY INFORMATION

 COMPONENT AVAILABILITY
 MILL .799
 DRILL .855
 PAINT .922

다 애로 작업장의 설비를 추가한 개선설계 시스템이 가용도, 순기비용 및 생산률 등이 우수함을 볼 수 있다.

본 시뮬레이션의 시험적용 결과, 통합 생산시스템의 RAM 및 순기비용(LCC)이 시스템의 성능에의 영향이 크며, RAM 및 순기비용(LCC)의 계산 방법을 확장 연구하고 관련

표 5. 고장 및 정비관련 Data

Work ST.	고장분포	MTTF	정비분포	MTTR	PM Type	PM간격
Mill	Exp(10.)	10.	N(3.0,0.05)	3.0	정규	100.0
Drill	N(20.0,0.1)	20.	N(5.0,0.05)	5.0	정규	100.0
Paint	Exp(50.)	50.	N(6.0,0.05)	6.0	정규	100.0
Mill(예비)	N(20.0,0.1)	20.	N(5.0,0.05)	5.0	정규	100.0
Drill(예비)	N(20.0,0.1)	20.	Exp(5.0)	5.0	정규	100.0

단계 1의 CAN-Q를 이용한 시뮬레이션의 결과에 따라 애로 공정인 St.2 Drill을 증가시킨 개선시스템을 구하고 단계 2의 개선시스템의 Data를 이용하여 시뮬레이션을 계속하였으며 이러한 결과로부터 최적설계를 위한 의사결정을 위하여 시스템평가지수(SPI)를 구하고 초기 및 개선설계 시스템을 비교하였다. 다음 표 8에서 보면 초기 생산시스템보

Data의 처리 프로그램을 개선할 경우 실용성 있는 Model이 될 것으로 판단된다.

통합 생산시스템은 여러 가지의 단위작업장 또는 하부시스템으로 구성되어 있으므로 각 서브시스템별 신뢰도, 정비도 및 순기비용에 대한 자료가 필요하므로 이를위한 통계처리 및 예측 자료들의 신뢰도 개선 등이 요망된다.

표 7. 개선 시스템의 Sample Output

```

SYSTEM AVERAGE AVAILABILITY--          .7036194
COST RATE VALUE-----$ 68.3243700 $ PER HR
LIFE CYCLE COST PER UNIT--$ 2.2775 PER UNIT
PRESENT WORTH LIFE CYCLE COST-- 48823.5900

SYSTEM COST BREAKDOWN TABLE
-----
TOTAL CAPITAL COST-----$ 24100.000
OPERATING COST:
TOTAL CORRECTIVE MAINTENANCE COST--$ 543.240
TOTAL PREVENTIVE MAINTENANCE COST--$ 17.353
TOTAL MATERIAL COST-----$ 83.000

COMPONENT AVAILABILITY INFORMATION
-----
COMPONENT      AVAILABILITY
MILL            .950
DRILL           .961
PAIN            .976
DRILL           .821
DRILL           1.000
    
```

를 도입하였다.

본 Model은 다른 유사 설비에도 가용할 것이며, 특히 FMS 분야에 널리 활용될 수 있을 것이다. 특히 본 연구에서 생산시스템의 상태를 가동 및 중단 등 두가지 상태만 고려되었으나 이를 다상태(Multi-State)로 확대 연구 가능할 것이며 Simulation Program도 대화형식으로 개선될 경우 더욱 편리하게 활용될 수 있을 것이다. 최근의 자동 생산시스템을 위한 전용 시뮬레이션 Package인 FACTOR/AIM을 활용하여 본 모델에 고려되지 못한

표 8. 초기 및 개선 시스템의 시스템평가지수의 비교

구 분	초기설계	개선설계	비 고
시스템 평균가용도(Ae)	0.5829	0.7036	단계2.시뮬레이션결과
LCC	45,512 \$	48,824 \$	"
Cost Rate	77.9 \$/Hr	68.23 \$/H	"
(단위가동시간/LCC)			
단위제품당 LCC	2.5967 \$/Hr	2.2775 \$/Hr	"
생산률(Prod. Rate)	10.9091te/Hr	21.8181item/Hr	단계1.시뮬레이션결과

6. 결 론

본 연구에서는 그 동안의 통합 생산시스템의 최적설계 및 평가를 위하여 고장 및 정비성을 고려한 가용도와 비용의 고려시 복잡한 문제점을 간편하게 확률적 시뮬레이션 Model로 접근하였으며, 기존의 가용도(Availability)의 개념보다 생산시스템의 구성 및 운영시의 주요 의사결정지원의 효율성과 순기비용(LCC)을 동시에 고려한 융통성있는 가용성(Flexible Availability)을 고려하였다. 또한 설계 공학자들의 시스템 및 가용도와 비용에 대한 인식을 고취하고 체계적인 의사결정지원이 가능하도록 설계시스템의 성능지수(SPI)

많은 요소들을 고려한 분석을 시도하여 개선 가능성을 연구하였다. 이러한 문제들을 고려할 경우 본 모델은 크게 개선될 것으로 본다.

참 고 문 헌

- [1] Baxter, L. A., "A Two-states System with Partial Availability in the Failed state," Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 28, pp. 231-236, 1981.
- [2] Buzacott, J. A., Stochastic Models of Manufacturing system, Prentice-Hall International, 1993.
- [3] Church, J., "Simulation Aspects of Flexible

- Manufacturing Systems Design and Analysis," Proceedings of Industrial Engineering Conference, pp. 426-431, 1982
- [4] Conway, Richard; Maxwell, William; McClain, John O. and Thomas, L. Joseph "The role of work-in-process inventory in serial production lines," Operations Research, Vol. 36, No. 2, pp. 229-241.
- [5] Hwang Heung-Suk, "A Study on a reliability Growth Model using truncated Weibull distribution," MAAD-414-88148, June, 1988.
- [6] Hwang Heung-Suk, "A Model for Army Life Cycle cost Analysis; ALIA Model," AAD Rep, Jan., 1986.
- [7] Kiang, T. D.: "life Cycle Management Cost Models," Proceedings, Annual Reliability and Maintainability Symposium, New York, 1978.
- [8] Kusiak, Andrew, "Flexible manufacturing systems; a structural approach," International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 6, pp. 1057-1073, 1985.
- [9] Misra, K. B., Reliability Analysis and Production, Elsevier, 1992.
- [10] Nagarur, N., "Some performance Measures of Flexible Manufacturing System," International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 4, pp. 799-809, 1992.
- [11] Prisker Corporation, "FACTOR/AIM: Finite Capacity Management," 1993.
- [12] Staats, E. B., "Manufacturing Technology - A Changing challenge to Improved Productivity," Report to the Congress by the Comptroller General of the United States, LCD-75-436, June 3, 1976.
- [13] Solberg, J., "Analysis of Flow Control in Alternative Manufacturing Configurations," Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Sept., 1980.
- [14] Stecke, K. E., "Design, Planning, and Control Problems of Flexible Manufacturing systems," Annals of Operations Research, Vol. 3, pp. 3-12, 1985.
- [15] Suri, R., "An overview of Evaluative Models for Flexible Manufacturing Systems," Annals of Operations Research, Vol. 3, pp. 13-21, 1985.
- [16] Vineyard, M. L. and Meredith, T. R., "Effect of Maintenance Policies on FMS Failures," International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 11, pp. 2647-2658, 1992.
- [17] Vinod, B. and Solberg, J. J., "The optimal design of flexible manufacturing systems," International Journal of Production Research, vol. 23, No. 6, pp. 1141-1151, 1985.
- [18] Viswanadham, N. and Narahari, Y., Performance Modeling of Automated Manufacturing Systems, Prentice-Hall International, 1992.