한국시뮬레이션학회 '00춘계학술대회 논문집 2000.4.15 영남대학교

시뮬레이션방법을 이용한 제품의 생산비용 산정모델

Application of Simulation in Product Costing

황 홍 석*, 박 태 원**
Hwang Heung-Suk , Park Tae-Won
* 동의대학교 산업공학과 교수
** 동의대학교 산업공학과 박사과정

요 약

제품의 생산비용을 산정 하는 문제는 통합생산시스템의 설계 및 제품의 생산과 판매계획 수립에 매우 중요한 분야이다. 복잡한 제조시스템에서의 생산방법과 관련 재료 및 반제품의 조달 등 복잡한 문제와 연관되므로 본 연구에서는 시뮬레이션방법을 이용하여 제품의 생산비용을 산정 하였다. 이를 위하여 설비의 순기비용(LCC : Life Cycle Cost)과 설비의 고장, 정비 및 가용도 등 RAM을 고려한 생산제품의 비용을 산정 하였다. 본 연구에서 제안한 모델을 위한 전산프로그램을 개발하고 예제를 통하여 그 결과를 보였다.

Keyword : System Performance, RAM, Simulation

1. 개 요

생산시스템의 관리자는 일반적으로 경제성 분석모델을 필요로 하지만 실제로 제품의 제조공정의 각 단계에서 활용 가능한 분석방법을 활용하지 못하고 있다. 생산제조시스템은 이를 구성하는 설비와 공정기술 및 전문요원으로 이루어진다. 이러한 제조시스템의 설계 및 운영은 적절한 생산제품의 품질(신뢰도 및 생산단가)를 유지하는 조건으로 이루어져야한다. 본 연구는 이러한 생산제조시스템의 가용도 및 비용을 산정 하는 모델을 개발하고 이를 이용한 최적 시스템의 설계 및 운영이 되도록 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)과 LCC(Life Cycle Cost)의 산정방법과 생산률을 고려한 제품의 생산비용을 산정 하였다.

본 연구에서는 이러한 제품의 생산 비용 산정을 위하여 그림 1과 같은 3 단계를 고려한 통합제품의 생산비용을 산정 하였으며 각 단계의 관련 비용산정을 위하여 시뮬레이션방법을 사용하였다.

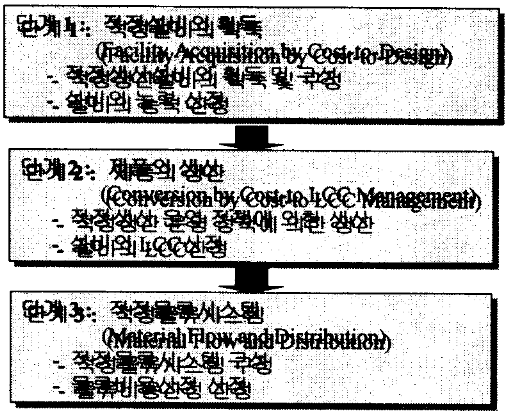

그림 1. 제품생산비용산정의 주요 내용

2. 적정설비의 구성 및 능력산정

2.1 시스템 능력산정

본 연구에서는 생산시스템의 능력산정을 위하여 전산프로그램 CAN-WIP모델을 개발하여 사용하였으며 본 연구의 결과 검증을 위하여, 제조환경을 다양하게 고려할 수 있는 FACTOR/AIM을 이용한 시뮬레이션 방법을 사용하였다.

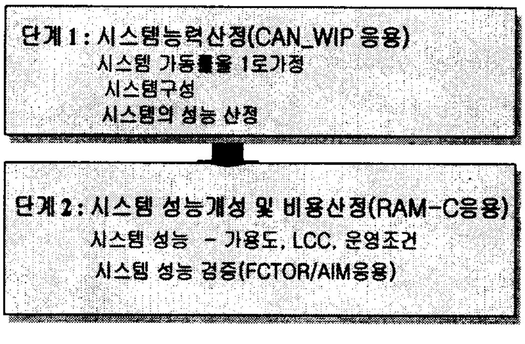

그림 2. 생산시스템 능력산정모델의 흐름도

여러 가지 확률적 가정 하에서 CQN의 해를 구하기 위하여, 승법 상태 하에서의 상태 벡터 $\overline{n}$을 나타내는 결합분포(Equilibrium Joint Queue Length Distribution)를 다음과 같이 구하였다.

$$P(\overline{n}) = G(N)^{-1}\prod_{i=0}^{M} F_i(n_i) \qquad (\overline{n} \in S)$$

여기서,

$$\overline{n} = (n_0, n_1, \ldots\ldots, n_M)$$

n_0 : 시스템 내에 있는 총 작업물

n_i : 작업장 i 에 존재하는 작업물의 수

$$F_i(n_i) = \begin{cases} 1, & n_i = 0 \text{ 일때} \\ \prod_{j=1}^{n_i} f_i(j) = V_i^{n_i}\prod_{j=1}^{n_i}\mu_i^{-1}(j), & n_i \geq 1 \text{ 일때} \end{cases}$$

$$(i = 0, 1, \ldots\ldots, M)$$

여기서 V_i : 방문 비율(Visit Ratio)

G(N)은 모든 P($\overline{n}$)의 합이 1이 되게 하는 정상화계수(Normalization Constant)로서 다음과 같다.

$$G(N) = \sum_{n \in S}\prod_{i=0}^{M} F_i(n_i)$$

작업장 i에서의 주변확률분포(Marginal Probability Distribution)는 다음과 같다.

$$\pi_i(n) = G^{-1}(N)\,G_i(N-n)\,f_i(n),$$

$$(n = 0, 1, \ldots, N)$$

CQN으로 표현된 통합생산시스템의 시스템 성능은 다음과 같이 표시할 수 있다.

(1) 작업장 i에서의 생산률

$$TH_i = \sum_{n=1}^{N}\mu_i(n)\,\pi_i(n)$$

$$= V_i G^{-1}(N)\sum_{n=0}^{N-1} G_i(N-1-n)\,f_i(n)$$

(2) 시스템 생산률

$$TH = \sum_{i=1}^{M} TH_i = G(N-1)/G(N)$$

위의 수식들을 이용한 계산을 위하여 각 작업장의 평균 작업시간이 표 1과 같이 6개의 작업장으로 구성된 생산시스템에서 각 작업

표 1. 6개의 작업장(Workstation)을 갖는 시스템의 작업시간

작업장 번호	작업장 1	작업장 2	작업장 3	작업장 4	작업장 5	작업장 6
평균 작업 시간	6.5	8.5	7.5	9.7	4.13	10.35

장의 초기 생산설비의 구성을 모두 1로 두고, 목표 생산률(Target Production Rate)이 0.35(분)인 경우에 초기 시스템의 구성안과 생산률을 요약하면 표 2와 같다. 이러한 시스템의 운영조건들을 실제문제와 유사한 사

표 2. 초기 시스템 출력 요약

대안	W/S의 M/C의 수	생산률 (Part/Min)	시스템 사용률
1	(1, 1, 1, 1, 1, 1)	0.08991	0.73
2	(1, 1, 1, 1, 1, 2)	0.10002	0.75
3	(1, 1, 1, 2, 1, 2)	0.11506	0.69
4	(1, 2, 1, 2, 1, 2)	0.13168	0.65
5	(1, 2, 2, 2, 1, 2)	0.15296	0.71
6	(2, 2, 2, 2, 1, 2)	0.18662	0.80
7	(2, 2, 2, 2, 1, 3)	0.20224	0.83
8	(2, 2, 2, 3, 1, 3)	0.22482	0.81
9	(2, 3, 2, 3, 1, 3)	0.23779	0.76
10	(2, 3, 2, 3, 2, 3)	0.26110	0.80
11	(2, 3, 3, 3, 2, 3)	0.28168	0.83
12	(2, 3, 3, 3, 2, 4)	0.29720	0.85
13	(3, 3, 3, 3, 2, 4)	0.30837	0.84
14	(3, 3, 3, 4, 2, 4)	0.34827	0.87
15	(3, 4, 3, 4, 2, 4)	0.37487	0.86

표 3. 초기 및 최종시스템의 능력 비교

구 분	초기시스템 (단계 1)	최종시스템 (단계 2)
WIP의 배분	(10,8,7,12,20)	(9,8,7,12,14)
설비 능력 (Prod. Rate) CAN-WIP	0.708	0.7003
설비 능력 (Prod. Rate) FACTOR/AIM	0.612	0.6043

항들을 고려한 시뮬레이션방법으로 초기해와 최적해를 FACTOR/AIM을 사용하여 분석한 결과를 표 3에서와 같이 요약하였다. 위의 표 3에서와 같이 초기 및 최종시스템의 생산률을 보면, FACTOR /AIM 의 결과보다 본 연구에서 사용된 모델에 의한 결과가 과다 평가되었음을 볼 수 있다. 즉 0.708 >0.612 및 0.7003 > 0.6043 이다. .

3. RAM 및 LCC를 고려한 생산제품의 단위 비용산정

3.1 시스템 RAM산정

RAM 및 LCC 산정을 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 균형가용도(Equilibrium Availability)를 산정 방법을 사용하였다.

A_e : 고려된 기간이 충분히 클 경우, 시스템이 가용상태일 확률

$$A_t = \frac{\text{기간}(0,\ t)\text{동안의 총 가동시간}}{\text{총 가동시간} + \text{총 정지 시간}}$$

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

$$A_e = \lim E\left(\frac{U_1 + U_2 + \cdots + U_{N(t)}}{U_1 + \cdots + U_{N(t)} + \cdots + V_1 + V_{N(t)}}\right)$$

$$= \frac{E[U]}{E[U] + E[V]}$$

여기서, U_i : i번째의 시스템이 가동상태에 있을 시간 길이를 나타내는 확률변수

V_i : i번째의 기간에 시스템의 Down Time의 길이를 나타내는 확률변수.

이를 위하여 비용산정 모델과 연계된 가용도 산정과정을 그림 3과 같이 표시하였다. 가용도의 산정을 위하여 다음과 같은 주요 내용들을 고려하였으며 이를 위한 전산프로그램을 개발하였다,

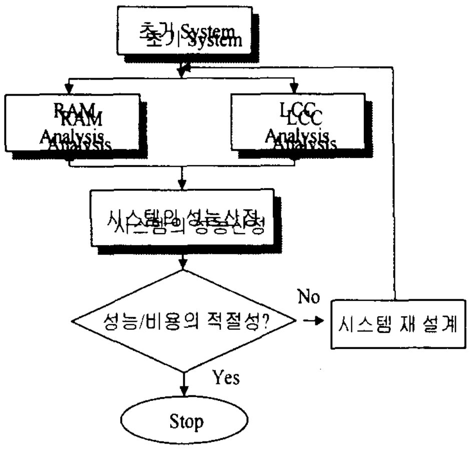

그림 3. 가용도-비용 분석 모델

3.2 LCC 산정

생산 제조시스템의 가용도(Availability)를 증가시킬 경우 시스템의 구성 및 정비 등의 비용이 추가된다. 경제적인 시스템 가용도를 구하기 위하여 먼저 시스템의 순기비용(Life Cycle Cost)을 산출하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 그림 4와 같이 LCC구조를 고려하였다. 본 연구에서는 위의 LCC구조에 따라 획득비용, 운영유지비용,

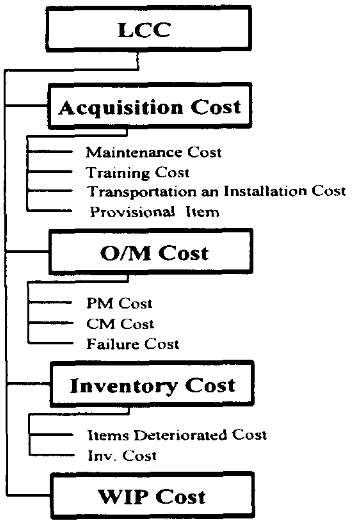

그림 4. LCC의 구조

고장손실비용 및 중간재고비용을 고려하여 다음 식과 같이 산정 하였다.

$$SLCC = \text{획득비} + \text{운영유지비} + \text{고장손실비} + \text{중간재고비}$$
$$= C_{A(t)} + C_{OM(t)} + C_F + C_{WP(t)}$$

4. 모델의 응용

본 모델의 시험적용의 목적으로 그림 5와 같이 3개의 작업장(W/S)으로 구성되는 통합생산시스템의 최적설계 및 운영을 위한 시스템의 성능 및 비용분석을 하고 그 결과를 보였다. 본 모델을 이용하여 위와 같이 3개의 W/S로 구성되고 통합 생산시스템의 최적설계를 위하여 시스템구성을 개선하면서 시스템의 성능(Production Rate), 가용도(Availability) 및 시스템의 운영조건을 고려한 생산제품의 비용을 구하였다. 위의 대안에서 최종 시스템 대안(Sys. Alt.4)에서 정비정책(PM 및 CM의 시간간격 및 정비요

표 1. 시스템 구성도

W/S	시스템 구성		설비의 가격	가공제품의 작업시간		
	설비명	M/C 의수		작업명	작업 시간	빈도
1	M/C #1	1	200	1	15	1
2	M/C #2	1	700	2	12	2
3	M/C #3	1	300	3	5	1

표 2. 고장 및 정비 Data

W/S	고장 분포	MTTF	정비분포	MTTR
1	N(10, 0.1)	10	N(5, 0.05)	5
2	N(20, 0.2)	20	N(5, 0.05)	5
3	EXP(50)	50	N(7, 0.06)	7

표 3. 시스템 대안별 RAM 및 Cost(요약)

Sys Alt.	Sys. 구성	Sys. 가용도	Prod Rate	Sys. 사용률	LCC의 현재가	단위생산 제품비용
1	(1,1,1)	0.512	1.100	0.69	8,478	59.296
2	(1,2,1)	0.620	1.820	0.73	9,286	32.917
3	(2,2,1)	0.711	2.931	0.79	9,687	18.620
4	(2,3,1)	0.792	3.510	0.82	9,972	14.385

원)과 Buffer-Storage 등을 고려하여 단위 생산량 당 최소비용조건을 구하면 표 3과 같다. 위의 최적 조건에서 가용도의 개선을 위하여 예비시스템을 활용할 수 있으며, 최종시스템에서 W/S 1 및 W/S 2에 각각 1대 및 2대씩의 예비시스템을 사용 시 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있고 최종 개선된 시스템은 그림 5와 같이 표시하였다.

표 4. PM정책에 따른 System성능

PM 시간 간격	Sys. 가용도	생산률 Prod. Rate	LCC의 현재가	단위생산 제품당 비용
50	0.795	3.421	9,780	14.383
100	0.812	3.675	9,825	13.169
150	0.841	3.772	9,834	12.400
1500	0.821	3.652	10,210	13.621

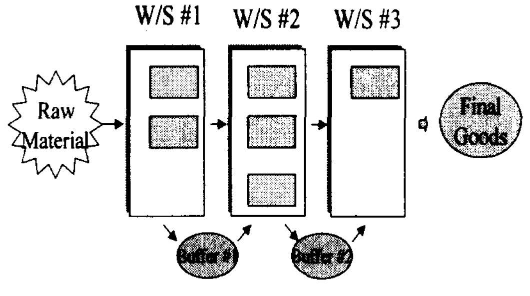

그림 5. 최종 개선된 시스템 구성도

5. 결 론

본 연구에서는 복합생산 시스템의 최적 설계 및 운영조건을 결정하기 위하여 System의 가용도와 순기비용(LCC)을 산출하고 시스템의 목표성능(Production Rate) 및 비용(LCC/Unit)을 만족시키는 생산제품의 비용을 산출하는 모델을 개발하고 이를 위한 전산 프로그램을 개발하였으며 3개의 W/S로 구성된 Sample System의 예를 통하여 본 개발 모델의 응용결과를 보였다. 본 연구는 다양한 생산제조시스템의 설계 및 운영조건에 따른 RAM 및 비용을 산정 하므로 적정 시스템 설계와 최적비용의 제품생산 조건을 제공할 수 있으며 시스템 설계 및 운영자들에게 최적조건을 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 본 모델의 프로그램의 보완 시 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Aven T.,"Availability Formulae For Standby Systems Of Similar Units That Are Preventively Maintained", IEEE Trans, On Reliab., Vol. 39,No. 5, pp.603-606, 1990.

[2] Buzacott, J. A., *Stochastic Models Of Manufacturing System*, Prentice-Hall, International, 1993.

[3] Fabrycky, W. J. And Blanvhard, B. S., *Life-Cycle Cost And Economic Analysis*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1991.

[4] Misra K. B., Reliability Analysis And Production, Elsevier, 1992.

[5] Stecke, K. E., "Design Planning, And Control Problems Of Flexible Manufacturing Systems," Annals Of Operations Research, Vol. 3, pp. 3-12, 1985.