

통합생산시스템의 정비정책의 시스템가용도에 대한 효과

Comparative Study of the Effects of Maintenance Policies on FMS System Availability

황 홍석*, 조 규성

* 동의대학교 산업 공학과
Tel : 890-1657, Fax : 890-1619,
E-Mail : hshwang@hyomin.dongueui.ac.kr

Abstract

본 연구는 통합생산시스템의 정비정책에 따른 시스템 가용도를 비교 분석한 연구로서 시스템의 평균 고장기간(MTBF)과 정비정책에 따른 시스템 가용도를 산정하고 최적 정비정책을 수립하는데 목적을 두고 있다. 시스템가용도와 시스템 생산능력을 산정을 위한 시뮬레이션모델을 개발하고 이를 위한 전산프로그램을 개발하여 사용하였다. 사용자를 위한 일련의 사례를 들고 각 정비정책에 따른 시스템 가용도 산정 결과를 보였다.

Keyword : System Availability, RAM

1. 개요

생산시스템의 관리자는 일반적으로 경제성분석방법을 필요로 하지만 실제로 제조공정의 각 단계에서 활용 가능한 분석방법을 활용하지 못하고 있다. 설비와 공정기술 및 전문요원으로 이루어진 생산시스템의 설계 및 운영은 적절한 생산제품의 품질(신뢰도 및 생산단가)을 유지하는 조건으로 이루어져야 한다. 본 연구는 이러한 생산제조시스템의 가용도 및 비용을 산정 하는 모델을 개발하고 이를 이용한 최적 시스템의 설계 및 운영이 되도록 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)과 순기비용 LCC(Life Cycle Cost)과 시스템의 생산률을 고려한 제품의 생산비용을 산정 하였다. 또한 본 연구에서는 적정 정비정책을 결정하기 위하여 정비정

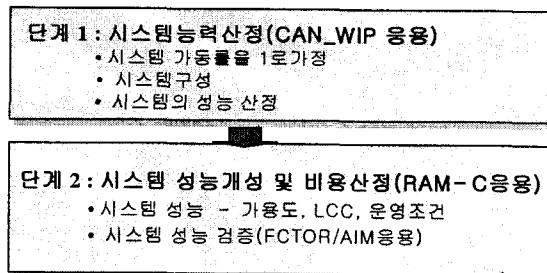


그림 1. 생산시스템 가용도, LCC 및 능력산정의 흐름도

책에 따른 시스템의 가용도, 생산비용(LCC), 및 시스템의 생산률의 산정을 위하여 그림 1과 같은 2 단

계를 고려하였다. 단계 1에서 요구되는 시스템의 가용도와 생산능력을 산정하고, 단계 2에서는 시스템의 성능을 고려한 생산제품의 비용을 산정 하였다. 또한 본 연구에서는 통합생산시스템의 적정 정비정책을 구하기 위하여 예방정비(Preventive Maintenance PM) 및 고장정비(Corrective Maintenance CM)정책의 변화에 따른 시스템의 생산능력과 비용을 산정 하여 비교하였으며, 이를 위한 시뮬레이션방법을 사용한 전산프로그램을 개발하고 실 예를 들어 보였다. 그림 2는 본 연구에서 개발한 통합생산시스템의 성능 및 비용산정시스템의 흐름 도를 나타내고 있다.

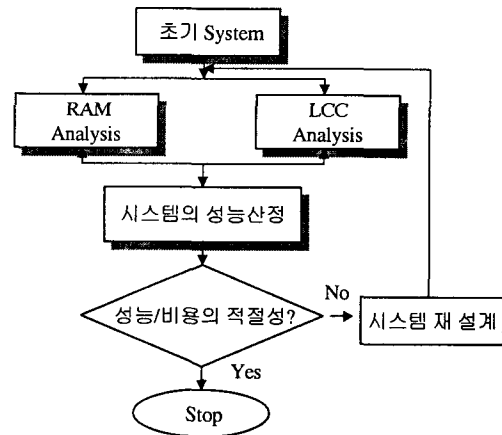


그림 2. 통합생산시스템 성능-비용 분석모델

2. 생산설비의 구성 및 능력산정

또한 본 연구에서는 생산시스템의 능력산정을 위하여 전산프로그램(CAN-WIP모델)을 개발하여 사용하였으며 본 연구의 결과 검증을 위하여, 다양한 제조환경을 고려할 수 있는 시뮬레이션 SW인 FACTOR/AIM을 사용하였다. 여러 가지 확률적 가정 하에서 생산시스템을 CQN(Closed Queueing Network)으로 Modeling하고 이의 해를 구하기 위하여, 승법 상태 하에서의 상태벡터 \vec{n} 을 나타내는 결합분포(Equilibrium Joint Queue Length Distribution)를 다음과 같이 구하였다.

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

여기서, $\bar{n} = (n_0, n_1, \dots, n_M)$

n_0 : 시스템 내에 있는 총 재공품

n_i : 작업장 i 에 존재하는 작업물의 수

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

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

여기서, V_i 는 방문 비율(Visit Ratio)이고 $G(N)$ 은 모든 $P(\bar{n})$ 의 합이 1이 되게 하는 정상화계수(Normalization Constant)로서 다음과 같이 표시할 수 있다.

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

작업장 i 에서의 주변확률분포(Marginal Probability Distribution)는 다음과 같다.

$$\pi_i(n) = G^{-1}(N) G_i(N-n) f_i(n), \quad (n = 0, 1, \dots, N)$$

따라서, CQN으로 표현된 통합생산시스템의 성능은 다음과 같이 표시할 수 있다.

(1) 작업장 i 에서의 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

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

본 연구에서는 통합생산시스템의 적정구성 및 생산능력산정을 위하여 위의 과정을 포함한 전산프로그램을 개발하고 생산능력과 가용도를 산출하였으며, 이를 이용하여 정비정책에 따른 시스템가용도 및 생산능력을 산출하여 비교하였다.

3. 시스템가용도 및 LCC를 고려한 생산제품의 단위 비용산정

3.1 시스템 RAM산정

· RAM 및 LCC 산정을 위하여 본 연구에서는 다음 수식으로 표시되는 균형가용도(Equilibrium Availability) 산정 방법을 사용하였다.

A_e : 고려된 기간이 충분히 클 경우, 시스템이 가용상태일 확률

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

$$A_e = \lim_{t \rightarrow \infty} E \left(\frac{U_1 + U_2 + \dots + U_{N(t)}}{U_1 + \dots + U_{N(t)} + V_1 + V_{N(t)}} \right) = \frac{E[U]}{E[U] + E[V]}$$

여기서, U_i : i 번째의 시스템이 가동상태에 있을 시간 길이를 나타내는 확률변수

V_i : i 번째의 기간에 시스템의 Down

Time의 길이를 나타내는 확률변수.

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

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 순주기비용(Life Cycle Cost)을 산출하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 그림 3과 같이 LCC구조를 고려하였다. 본 연구에서는 위의 LCC구조에 따라 획득비용, 운영유지비용, 고장손실비용 및 중간재고비용을 고려하여 다음 식1과 같이 산정 하였다. 위의 순주기비용 요소를 다음과 같이 고정비와 변동비로 구분하고 정비비 및 간접비를 고려하였으며, 다음과 같은 시스템의 순주기비용 계산식을 사용하였다.

$$TSCCT = \text{고정비} + \text{변동비} = \text{고정비} + \text{수정정비비} + \text{총예방정비비} + \text{간접비}$$

4. 모델의 응용

4.1 응용시스템

본 시스템을 다음과 같은 자동차공장의 부품제조시스템에 응용하였다. 본 응용시스템은 그림 3에서와 같이 네 가지 단위공정으로 이루어져 있다.

- 성형공정(molding process), · 절삭처리공정(cut processing), · 열처리공정(heat treatment process)
- 포장공정(paving process)

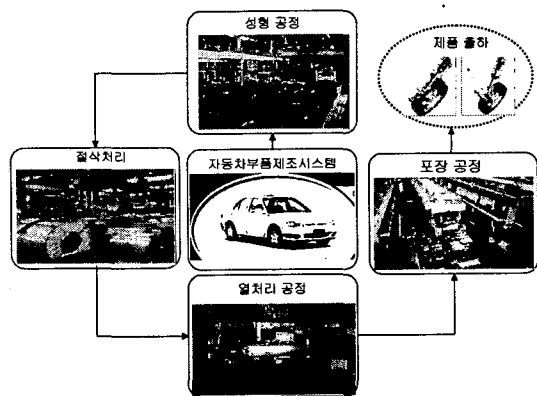


그림 3. 자동차부품제조시스템의 공정도

본 시뮬레이션을 위하여 개발한 프로그램의 입출력의 Sample 화면을 아래와 같이 요약하였다. 그림 4는 시뮬레이션을 수행할 시 초기화면 및 초기 입력자료이다. 그림 5은 예제문제인 자동차부품생산회사의 부품제조시스템의 초기입력자료내용의 입력화면이다. 그림 6은 예제문제인 자동차 부품제조시스템의 최종결과 출력화면이다. 본 예제에서 시뮬레이션 수행을 20년(175,200시간)동안 실행한 결과를 표 1과 같이 요약하였다.

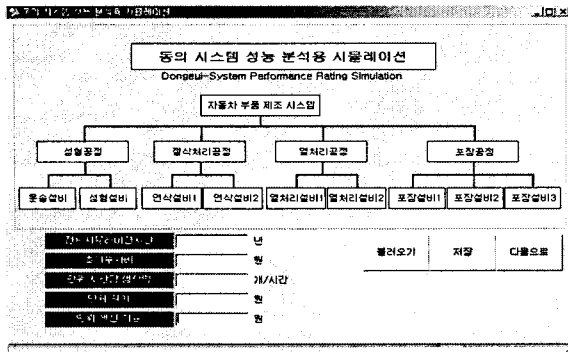


그림 4. 시뮬레이션 실행 초기화면

표 1. 시뮬레이션 결과 출력표

| | |
|-----------|-------------|
| 평균가용도 | 0.897081 |
| 표준편차 | 0.003612177 |
| 표준오차추정량 | 0.000571135 |
| 95%신뢰구간너비 | 0.00128014 |

4.2 시스템 LCC 산정 예제

본 연구에서 개발한 시뮬레이션 프로그램을 위의 자동차 부품제조시스템의 예제에 응용하였다. 시뮬

그림 5. 시스템의 공정별 설비자료입력 화면

레이션 기간을 위에서와 마찬가지로 20년(175,200시간)으로 하고 이 기간 동안에 실행한 결과 산출된 순기비용과 공정별 정비비용의 결과를 표6과 같이 요약하였다. 표 6은 자동차부품공장의 시스템 및 공정에 대한 순기비용과 정비비용의 시뮬레이션 결과이다. 각 공정별 가용도 및 LCC를 동시에 구하여 그림 7 및 표 2 3과 같이 비교하였다.

그림 6. 최종 결과값 출력화면

표 2. 자동차부품제조시스템의 LCC 및 정비비

| 시스템 | 순기비용 및 정비비용 (단위: 만원) | 공정명 | 정비비용 (단위: 만원) |
|--------|-----------------------------|---------------|---------------|
| 부품제조 2 | 순기비용: 190103 정비비용: 54924 | 성형공정 (직렬결합) | 13379 |
| | | 열처리공정 (병렬결합) | 24355 |
| | | 절삭처리공정 (대기결합) | 8318 |
| | | 포장공정 (N중K결합) | 8872 |

그림 7. 생산 비용 및 가용도 산출 결과

표 3. LCC(50회시뮬레이션 실행한 후)

| 동희자동차 부품제조시스템 | | | |
|---------------|------------|-------------|------------|
| 시뮬레이션 횟수 | 순기비용 | 시뮬레이션 횟수 | 순기비용 |
| 1 | 1928330000 | 26 | 1884464000 |
| 2 | 1969754000 | 27 | 1902590000 |
| 25 | 1901576000 | 50 | 1978065000 |
| 평균순기비용 | | 1905903308 | |
| 표준편차 | | 41231262.95 | |
| 표준오차추정량 | | 6519235.086 | |
| 95%신뢰구간너비 | | 14612181.73 | |

4.3 정비정책에 따른 시스템성능 및 가용도

본 연구에서 사용된 시뮬레이션모델에서는 순기비용을 고정비와 변동비로 구분하고 다시고정비, 정비비 및 간접비등의 몇 가지 관련 비용요소들을 고려하였다. 또한 정비비용은 정비시간분포에 따라서 사후보전(CM) 정비비와 예방보전(PM) 정비비의 합산으로 계산되어졌다. 위의 예제에서 시스템의 평균 순기비용은 1,905,903,308이며 평균 정비비는 552,233,000이며 표준편차는 14054954.6이다. 표 4는 정비비 산정을 위한 관련 입력자료이며, 표 5는 예제의 정비비 산정의 예이다.

표 4. 정비비 산정 : 예

| 동희자동차 부품제조시스템 | | | |
|---------------|-----------|------------|-----------|
| 시뮬레이션 횟수 | 정비비용 | 시뮬레이션 횟수 | 정비비용 |
| 1 | 557530000 | 26 | 544970000 |
| 2 | 574250000 | 27 | 549100000 |
| 3 | 574140000 | 28 | 539620000 |
| 24 | 549520000 | 49 | 515753000 |
| 25 | 547260000 | 50 | 521007000 |
| 평균정비비용 | | 552233000 | |
| 표준편차 | | 14054954.6 | |
| 표준오차추정량 | | 2222283.45 | |
| 95%신뢰구간너비 | | 4981015.29 | |

표 4. 정비관련 입력자료

| 설비명 | 설비 수 | CM | | PM 간격 |
|---------|------|-------------|--------------|-------|
| | | 고장시간 분포 | 정비시간 분포 | |
| Molding | 1 | Exp(10.) | N(3.0, 0.05) | 100 |
| Cutting | 1 | N(20.0,0.1) | N(5.0, 0.05) | 100 |
| Heating | 1 | Exp(50.) | N(6.0, 0.05) | 100 |
| Paving | 1 | Exp(80.) | N(4.0, 0.04) | 100 |

표 5. PM정책에 따른 System성능

| PM 시간 간격 | Sys. 가용도 | 생산률 Unit/Time | LCC의 현재가 | 단위생산 제품당비용 |
|----------|----------|---------------|------------|------------|
| 50 | 0.697 | 2,889,534 | 2514372341 | 185 |
| 100 | 0.897 | 4,145,674 | 1905903308 | 124 |
| 150 | 0.841 | 3,486,118 | 2205312672 | 165 |
| 1500 | 0.821 | 3,403,598 | 2765783592 | 198 |

본 예제에서는 정비 정책을 PM간격 100을 기준으로 하는 것이 단위 생산비용이 최소이며 이는 위의 예제에서 제시한 각 경우별 가용도, 생산률 및 비용을 산정 하여 비교하여 구한 값이다.

5. 결론

본 연구에서는 복합생산 시스템의 최적 설계 및 정비정책을 결정하기 위하여 System의 가용도와 순기비용(LCC)을 산출하고 시스템의 목표성능 및 비용(LCC/Unit)을 만족시키는 시스템의 정비 정책을 산출하는 모델을 개발하고 이를 위한 전산 프로그램을 개발하였으며 4개의 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 적정시스템 설계와 최적비용의 제품생산 조건을 제공할 수 있으며 적정 정비 운영정책을 이 시스템 설계 및 운영자들에게 최적조건을 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 본 모델의 프로그램의 보완 시 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

[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] Baxter, L. A., "A Two-states System with Partial Availability in the Failed State," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 28, pp. 231-236, 1981.

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

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

[5] Fabricky, W. J. and Blanchard, B. S., *Life Cycle Cost and Economic Analysis*, Prentice Hall, New Jersey, 1991.

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

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

[8] C.L. Proctor and B. Singh., "A Three-State System Markov Model", *Micro-Electronics and Rel. Vol.14*, pp.463-464, 1975

[9] Buzacott, J. A., *Stochastic Models of Manufacturing system*, Prentice-Hall International, 1993.

[10] Misra, K. B., *Reliability Analysis and Production*, Elsevier, 1992.

[11] Prisker Corporation, *FACTOR/AIM: Finite Capacity Management*, 1993.

[12] Satish J. Kamat, Sunil S. Desal., "Hazard Model for Repaired System", *IEEE Trans. on Rel.*, Vol. R-34, No 2, pp.177-178, 1985.

* 본 연구는 동의대학교 물류시스템연구실의 지원으로(2001년도 이공계연구소기자재현대화 사업) 연구되었습.