

RAM 및 LCC의 제조시스템의 능력에 대한 영향

Effects of RAM and LCC in Manufacturing System Performance

황 흥석*, 박 태원,

Heung-Suk Hwang, Tae-Won Park

동의대학교 산업공학과

614-714 부산시 부산진구 가야동 산24

Tel : 051-890-1657, E-Mail : hshwang@hyomin.dongueui.ac.kr

Abstract

제조설비의 운영은 적절한 생산제품의 품질(신뢰도 생산단가 등)을 유지하는 조건으로 유지되어야 한다. 본 연구에서는 제조설비의 적정운영조건을 구하기 위하여 제조설비의 RAM 및 순기비용(LCC)이 제조설비의 성능에의 영향을 분석하고 최적대안을 구하였다. 이를 위하여 우선 설비의 RAM 및 LCC산정모델을 개발하고 이를 이용하여 제조설비의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위한 수리모델을 제시하였다. 이를 위한 전산프로그램을 개발하고 이를 이용하여 제조시스템의 성능 분석 사례를 들어 보였다. 또한 다양한 환경에서 제조시스템의 성능을 예측하기 위하여 시스템의 복잡성이 큰 문제를 분석하는데 적절한 GMDH방법을 사용하여 추정하였다. 이를 이용한 성능예측의 실 예를 들어 본 연구의 과정을 보였다.

Keyword : RAM, LCC, Cost Analysis, Performance Analysis

1. 서론

생산제조시스템의 설계 및 운영은 적절한 생산제품의 품질(신뢰도 및 비용)을 유지하는 조건으로 이루어져야한다. 본 연구는 이러한 생산제조시스템의 설계 시 시스템가용도 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 시스템의 성능(생산률)과 비용의 상쇄(Trade-Off)분석을 통하여 생산제조시스템의 다양한 설계 대안을 고려한 최적화 조건을 구하고 이 경우의 제조비용의 최적화를 위한 설비계획 조건을 구하였다. 본 연구는 크게 다음과 같은 세 가지 분야의 연구가 수행되었다.

- 시스템 RAM 및 LCC산정
- 시스템 가용도, LCC 및 시스템 성능간의 Trade-Off 분석
- GMDH방법을 응용한 시스템 성능의 예측

또한 이를 위한 전산 프로그램을 개발하고 Sample Run의 결과를 보였다. 본 연구는 다양한 생산제조시스템의 설계 및 운영조건에 따른 RAM 및 비용을 산정 하므로 적정시스템 설계와 최적비용의 제품 생산조건을 제공할 수 있으며 시스템성능을 사전에 예측할 수 있으므로 설계 및 운영자들에게 최적조건을 제공할 수 있을 것이다.

2. 제조설비의 RAM 및 LCC의 산정

본 연구에서는 그림 1과 같이 3 단계의 접근방법을 사용하였으며 이를 위하여 먼저 단계 1에서 시스템 RAM 및 LCC산정과 단계 2에서는 시스템 가

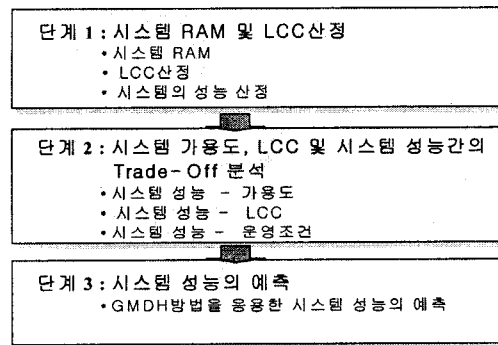


그림 1. 3 단계 접근방법

용도, LCC 및 시스템 성능간의 Trade-Off 분석을 하였으며 마지막 단계 3에서는 단계 1 및 2의 방법을 응용하고 GMDH방법을 이용한 시스템 성능을 예측하는 과정을 보였다.

2.1 시스템 RAM 및 LCC산정

1) 시스템 RAM 산정

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

A_e : 고려된 기간이 충분히 클 경우, 시스템이 가용상태일 확률

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

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

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

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

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 다음과 같이 비용산정 모델과 연계된 가용도 산정과정을 그림 2와 같이 표시하였다.

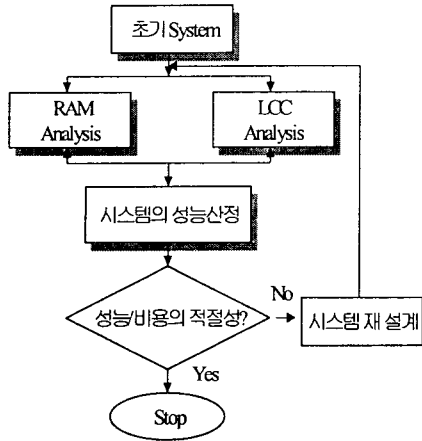


그림 2. 가용도-비용 분석 모델

본 연구에서는 앞에서 제시한 가용도의 산정을 위하여 다음과 같은 주요 내용들을 고려하였으며 이를 위한 전산프로그램을 개발하였다,

- 1) RAM 소요 설정
 - 2) 가용도 개선을 위한 분석
- 위의 내용들을 고려한 가용도 산정 모델(그림 2)에서(RAM 분석 Block)의 흐름 도를 작성하고 이를 위한 전산프로그램을 개발하였으며 실제 문제에 응용한 결과를 보였다.

2) LCC 산정

생산 제조시스템의 가용도(Availability)를 증가시킬 경우 시스템의 구성 및 정비 등의 비용이 추가된다. 경제적인 시스템 가용도를 구하기 위하여

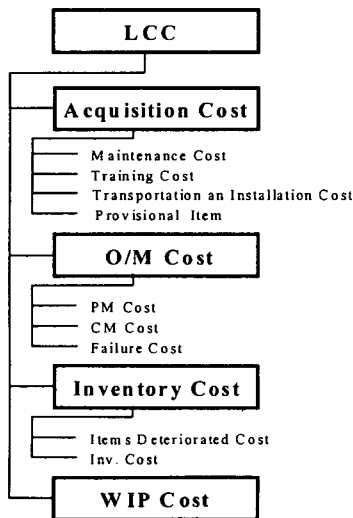


그림 3. LCC의 구조

먼저 시스템의 순기비용(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 식과 같이 산정 하였다.

$$SLCC = \text{획득비} + \text{운영유지비} + \text{고장손실비} + \text{중간재고비}$$

$$= C_{A(t)} + C_{OM(t)} + C_F + C_{WIP(t)}$$

3) 시스템 성능산정 및 RAM-LCC의 산정

시스템의 성능산정을 위하여 그림 4와 같이 4개의 작업장으로 구성된 제조시스템의 예를 들어 CQN 모델을 사용하여 시스템성능을 산정 한 결과를 표 2에서와 같이 보였다.

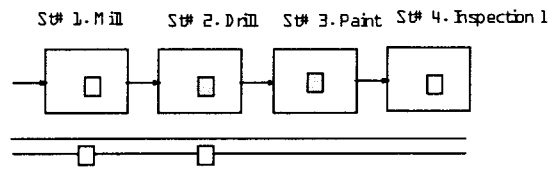


그림 4. 예제 시스템

표 1과 같이 작업시간자료를 이용하여 산정 한 시스템성능을 표 2와 같이 요약하였다.

표 1. 작업시간 Data(예제)

Work Station	W/S 1	W/S 2	W/S 3	W/S 4
Operation Time	14.17	9.17	3.22	23.20

표 2. 시스템의 각 대안별 성능(예제)

Alt.	System Configuration	Production Rate(Part/Min)	System Utilization Rate
1	(1, 1, 1, 1)	1.088	0.66
2	(1, 1, 1, 2)	1.428	0.64
3	(1, 2, 1, 2)	2.358	0.73
4	(2, 2, 1, 2)	3.126	0.83

위의 예제에서 시스템 RAM 및 LCC를 산정하기 위하여 표 3과 같이 고장 및 정비관련 자료를 사용하여 구하였으며 각 시스템 구성대안별로 요약하면 표 4와 같다.

표 3. 예제 시스템의 고장, 정비 및 비용 Data

W/S	Sys. Conf. No. of M/C	Acc Coa	Oper. Time	Failure Distn.	MTTI	Maint.	MTTF
1	1	250	14.17	N(10, 0.1)	10	N(5, 0.05)	5
2	1	500	9.17	N(20, 0.2)	20	N(5, 0.05)	5
3	1	200	3.22	Exp(50)	50	N(7, 0.05)	7
4	1	500	23.20	N(20, 0.1)	20	N(5, 0.05)	5

표 4 및 5에서 보면 시스템대안 4의 생산률이 3.126이나 시스템1은 1.088로 시스템구성대안에 따라 크게 개선시킬 수 있다. 반면 시스템의 가용도는 상승되고 단위 생산 제품 당 LCC는 감소함을 볼 수 있다.

표 4. RAM, LCC 및 시스템성능 출력 예 :

Sys Alt	System Confi.	Sys. Avail.	Prod. Rate	Util.	LCC (원가)	LCC/Unit Produced	Rem.
1	M/C#1: 1 M/C#2: 1 M/C#3: 1 M/C#4: 1 Buff.	0.439	1.088	0.66	5,489	0.058	Initial System
2	M/C#1: 1 M/C#2: 1 M/C#3: 1 M/C#4: 2 Buff.	0.507	1.428	0.64	5,990	0.048	
3	M/C#1: 1 M/C#2: 2 M/C#3: 1 M/C#4: 2 Buff.	0.584	2.358	0.73	6,655	0.046	Min. Cost
4	M/C#1: 2 M/C#2: 2 M/C#3: 1 M/C#4: 2	0.616	3.126	0.83	7,572	0.058	

표 5. 설비의 운영정책에 따른 System 성능 비교

PM Interval	Sys. Avail	Prod. Rate	LCC	LCC/Unit Produced	Rem
40	0.593	2.393	6.044	0.045	
80	0.584	2.353	6.123	0.042	
160	0.599	2.418	6.134	0.041	
1600	0.600	2.422	6.349	0.043	

3. 시스템 성능의 예측

제조시스템의 설계 시 위의 RAM 및 LCC 요소들의 변화에 따른 시스템의 성능을 예측하는 문제는 매우 복잡하다. 본 연구에서는 이러한 복잡한 문제 즉 파라미터와 불확실한 Data가 주어지는 경우 적절한 예측방법인 GMDH(Group Method Data Handling)방법을 사용하였다.

1) GMDH 알고리즘

GMDH알고리즘은 Ivakhnenko(1968)에 의해서 개발된 이후 시스템 컨트롤 분야 및 제조시스템 등에 널리 응용되어 왔으며 이후 환경 및 경제성 분석 분야의 Modeling에도 널리 응용되고 있다. GMDH알고리즘은 그림 5에서와 같이 다단계(Multi-layered)적 구조를 이루고 있으며, 각 단계에서 입력 data로부터 통상 2개의 선정된 변수의 2차 다항식의 예측 식을 사용하였다.

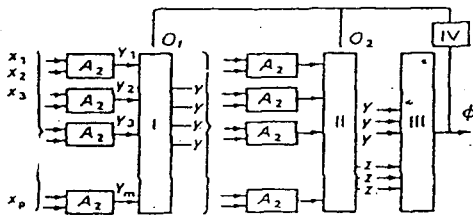


그림 5. GMDH 다단계구조(Chao 및 Ferreira (1986)에서 인용)

Y_0 가 시스템의 성능변수이고, m개의 입력 변수를 $X_i, i=1, m$ 일 경우, 임의의 2개의 변수 X_i 및 X_j 의 조합으로부터 다음과 같은 회귀분석식을 사용하였다.

$$Y_0 = A + BX_i + CX_j + DX_i^2 + EX_j^2 + FX_iX_j$$

GMDH 알고리즘은 각 단계마다 2차 다항식이 되도록 우선 이러한 복잡한 문제는 피할 수 있다. 통합자동생산시스템의 성능을 표시하는 변수 Y의 예측 Model의 일반식을 다음과 같이 표시 할 수 있다.

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$$

위에서 얻은 가용한 Data로부터 $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 의 각 예측 파라미터를 구하는 문제를 위한 GMDH알고리즘을 다음과 같이 4개의 단계로 요약하였다 :

단계 1: Data 구분

가용한 Data를 2개의 부분으로 구분하여, 파라미터 예측을 위한 Data부분(Training Data Set)과 오차를 검증하는 Data부분(Checking Data Set)으로 구분한다.

단계 2: 새로운 변수의 설정

초기변수로부터 각각 2개의 변수를 선정하여 2차 다항식을 이루는 예측 Model을 선정하고 Training Data Set으로부터 예측 식을 구한다.

예 : $f(x_1, x_2, x_3)$ 인 경우 $x_1, x_2; x_1, x_3; x_2, x_3$ 의 3가지 조합이 가능하다. 이 단계에서는 최초의 m개의 변수로 구성되는 다차 다항식 대신 2개의 변수로 구성되는 2차 다항식의 예측 Model을 사용한다.

단계 3 : 기여도가 적은 변수의 선별

이는 Checking Data Set로부터 2단계에서 구해진 예측 결과를 검증하여 다음단계의 입력변수로 활용하는 단계이다. 이를 선별하기 위하여 다음과 같은 선별식을 사용하였다.

$$r_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_j - Z_{ij})^2}{\sum_{j=1}^m y_j^2} \quad i=1, 2, \dots, \left(\frac{m}{2}\right)$$

여기서 $i = nt + 1$, n 까지의 합은 Data의 Checking Set의 결과를 뜻하며 Z_{ij} 는 i번째 Data 들로부터 j 번째 변수의 조합으로 회귀 분석한 결과 값이다.

단계 4 : 최적화 검증

단계 3으로부터 r_j 의 최소값(RMIN)을 구하여 이를 전 단계의 RMIN값과 비교하여 개선되지 않을 경우 전 단계의 예측 식을 사용하고 회귀분석을 끝내며, 그렇지 않을 경우 다음단계(Layer)로 계속된다.

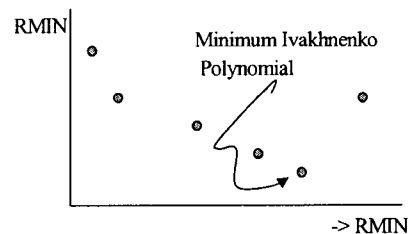


그림 6. RMIN과 예측함수

이 단계에서 최종 예측 식은 초기단계의 입력변수 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ 의 다차 다항식으로 최적

"Ivakhenko Polynomial"이라고 하며 다음과 같이 표시된다.

$$Y_0 = a + \sum_{j=1}^m b_j x_j + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m c_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m a_{ijk} x_i x_j x_k$$

예제를 위하여 예측변수를 아래와 같이 정의하고 GMDH방법을 이용한 입출력자료를 정리하였다.

- System performance variables : Y
 - Y₁ : System Production Rate
 - Y₂ : System LCC
- 입력 변수: X
 - X1 : MTTFF1 of W/S#1
 - X2 : MTTFF2 of W/S#2
 - X3 : MTTFF3 of W/S#3
 - X4 : MTTR4 of W/S#4
 - X5 : LCC

Example Prob. Analysis GMDH Input Data

```
-----
Munkyo Chalk Analysis GMDH Output                2000. 3. 15.
-----
NUMBER OF INDEP VAR =      5
NUMBER OF OBS. =      30
NUMBER OF VAR IN TRAINING SET =      15
FRACTIONAL INCREASE IN VARIABLES =      .000
-----
PRINT INPUT DATA

OBS      Y          (X(1),I=N)
1      3.000      .101  4.000  14.400  8.780  9.000
2      6.000      .902  .000  10.600  13.460  5.000
3      4.000      .101  5.200  14.800  6.440  14.000
4      3.000      .801  4.400  8.400  9.140  8.000
5      3.000      .502  5.200  8.000  8.600  13.000
      .
      .
      .
25     6.000      .701  3.200  11.600  7.340  4.000
26     3.000      .301  2.400  14.600  7.700  5.000
27     5.000      .802  6.000  10.200  8.420  13.000
28     5.000      .002  1.200  9.800  14.000  12.000
29     7.000      .002  2.800  5.800  13.820  10.000
30     4.000      .602  6.400  9.400  9.680  8.000
      .
      .
      .
LEVEL NUMBER= 1
NO. VARIABLES SAVED = 5
RMIN VALUE (SUMMED OVER CHECKING SET)= .52809E-01
MULTIPLE CORRELATION (SUMMED OVER TRAINING SET) = .189026
-----
GMDH CONVERGED AFTER 1 GENERATION(S)
MULTIPLE CORRELATION (SUMMED OVER TRAINING SET) = .189026
-----
CASE  OBSERVED  ESTIMATE      ERROR      PERCENT ERROR
NO.   VALUE
1     .30000000E+01  .34758150E+01  -.47581510E+00  -.15860500E+02
2     .60000000E+01  .49072140E+01  .10927860E+01  .18213100E+02
3     .40000000E+01  .34821660E+01  .51783370E+00  .12945840E+02
4     .30000000E+01  .51946750E+01  -.21946750E+01  -.73155830E+02
5     .30000000E+01  .50202340E+01  -.20202340E+01  -.67341120E+02
      .
      .
      .
26    .30000000E+01  .38683710E+01  -.86837120E+00  -.28945710E+02
27    .50000000E+01  .48480740E+01  .15192600E+00  .30385210E+01
28    .50000000E+01  .38913470E+01  .11086530E+01  .22173060E+02
29    .70000000E+01  .53734860E+01  .16265140E+01  .23235910E+02
30    .40000000E+01  .47682380E+01  -.76823760E+00  -.19205940E+02
-----
IVAKHNENKO POLYNOMIAL
Y = A + B*U + C*V + D*U*U + E*V*V + F*U*V
A = .9088E+01
B = .3319E+00
C = -.8005E+00
D = -.2742E+00
E = .2755E-01
F = .1185E+00
U = X( 1)      V = X( 3 )
-----
```

$$Y = 9.909 + 0.332*X1 - 0.800*X3 - 0.274*X1*X1 + 0.028*X3*X3 + 0.119*X1*X3$$

예제의 예측 Model은 다음과 같다.

$$Y = 0.673 - 166.9X_2 + 14.55X_6 + 301.4X_2^2 - 0.1304X_3^2 - 0.9626X_2X_6$$

본 Model의 예측오차가 매우 적음을 알 수 있다

4. 결론

본 연구에서는 복합생산 시스템의 최적 설계 및 운영조건을 결정하기 위하여 System의 가용도와 순기비용(LCC)을 산출하고 시스템의 목표 성능 (Production Rate) 및 비용(LCC/Unit)을 만족시키는 조건을 산출하는 3 단계 접근 방법을 사용하였다. 또한 시스템의 성능 예측을 위하여 복잡한 문제에 적절한 GMDH방법을 응용하였다. 또한 위의 각 단계에서 필요한 계산을 위하여 전산 프로그램을 개발하였으며 4개의 W/S로 구성된 Sample System의 예를 통하여 본 개발 모델의 출력을 보였다. 4개의 W/S로 구성된 예제 시스템에서 대안 4의 생산능력(Production Rate)은 목표 요구 능력 3.7을 넘게 되고 이때의 단위 생산 제품 당 LCC가 7.52, 시스템 생산률이 3.126로서 최적 시스템으로 판단되며 PM간격도 1600 시간이 최적 운영 조건인 것으로 알 수 있다. 본 연구에서 개발된 GMDH 프로그램은 입출력 절차를 개선할 경우 확실한 Data환경에서 일반적인 제조 시스템의 성능 및 불량률의 예측에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이며, 그 예측 오차도 크게 줄일 수 있을 것으로 본다.

참고 문헌

1. A.G. Ivakhnenko, "Sorting Methods for Modeling and clusterization(Survey of GMDH Papers for the Years 1983-1988) The Present stage of GMDH Development", Soviet Journal of Automation and information Sciences, Vol.4, PP.1-13, 1988.
2. 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.
3. Buzacott, J. A., *Stochastic Models Of Manufacturing System*, Prentice-Hall, International, 1993.
4. Fabrycky, W. J. And Blanvhard, B. S., *Life-Cycle Cost And Economic Analysis*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1991.
5. Hopp, W. J. & Simon J. T., "Estimating Throughput In An Unbalanced Assembly Like Flow System", Int. J. Prod Res, Vol. 31., No 4., , pp.851-868, 1993.
6. Misra K. B., *Reliability Analysis And Production*, Elsevier, 1992.
7. Solberg J., "Analysis Of Flow Control In Alternative Manufacturing Configurations", Journal Of Dynamic Systems, Measurement And Control, 1980.