

技術革新에 對應한 그룹設備交替模型

The Group Equipment Replacement
Model Correspond to the Technology Innovation

李圭聖*, 李相鎔**

Kyu-Sung Lee*, Sang-Yong Yi**

Abstract

Traditional equipment replacement research involves the evaluation of either a single machine or single machining system. Assumptions such as a single machine or single machining system replacement models are inadequate in today's complex manufacturing environment, particularly for automated manufacturing systems.

Therefore, this paper proposes the procedure for the analysis of multiple machine replacement problem in the integrated flexible manufacturing systems.

The profit and loss analysis was performed based on the optimal parts production quantities for each of the seven system configurations.

1. 서론

지금까지의 전통적인 설비교체에 대한 연구는 주로 단일기계나 단일 기계시스템에 관한 연구에 국한되어 왔다. 단일기계 설비 교체문제의 가장 주목할만한 연구는 Terborgh[9]와 Smith[8]에 의한 연구이다.

이들에 의해 모형화된 내용은 Bellman과 Dreyfus[1]에 의해 계산절차가 제안되었다. 그러나 이러한 모형들은 모형을 단순화하기 위하여 여러가지 가정을 제시하고 있으며, 단일 설비교체문제에 국한되어 있다. 그러나 이러한 단일 설비교체모형은 현대의 복잡한 제조환경에는 부적절하다. 특히 유연

* 인천기능대학

** 건국대학교

생산시스템의 교체문제에는 더욱 그러하다.

만일 문제가 현존하는 생산시스템중 단지 1 가지 설비의 교체에 관한 것이나 시스템 전체를 교체하는 경우라면 단일설비교체모형이 적합할 것이다. 그러나 전체의 생산시스템중에서 특별한 경우의 기계센터의 한 부분 또는 일부분만의 교체를 하는 경우라면 단일설비교체모형은 부적절하다. 여러 대의 설비가 각각의 설비에 대하여 상호작용을 하고 있는 유연생산시스템의 경우라면 설비의 일부분을 교체함으로써 교체한 설비만으로 본 경우 운용이익을 증대시킬 수 있으나 이 설비의 교체가 다른 설비에 영향을 미치게 되므로 전체의 생산시스템의 운용이익을 오히려 감소시킬 수도 있으므로 이를 고려하여 전체 생산시스템의 운용이익을 최대화할 수 있는 그룹설비교체모형이 보다 적합하다.

이 논문의 목적은 이러한 대규모 시스템 특히 유연생산시스템의 그룹설비교체에 관한 분석모형을 구축하고, 이의 해법을 제시하는 데 있다. 이러한 그룹설비교체문제를 모형화하고 분석하는 데 가장 어려운 점은 유연생산시스템을 구성하는 설비전체의 효율과 이를 구성하는 개개의 설비와의 상호관계를 고려하는 것으로 이는 전체 유연생산시스템을 구성하는 여러 설비중에서 1 혹은 2 개 이상의 설비를 부분적으로 교체할 경우 이로 인해 전체 유연생산시스템에 어떠한 영향을 미치는가를 결정하는 것이다.

따라서 본 논문에서는 각 기계설비간의

작업부담에 중점을 두어 이러한 내용을 충분히 반영할 수 있는 그룹설비교체문제의 모형을 설정하고, 최적교체방침을 결정할 수 있는 해법을 제시하였다. 이를 분석하기 위한 요인으로서는 설비의 생산유연도, 생산용량, 자재취급용량, 투입-산출 단위 등을 고려하였으며, 목적함수는 전체의 유연생산시스템 가동시 이익을 최대화할 수 있도록 설정하였고, 가능한 모든 설비교체방침의 경우에 대하여 경제성을 분석하였다. 의사결정대안으로는 현설비를 그대로 사용하는 경우 여러 대의 현설비를 1 대의 도전설비로 교체하는 경우, 1 대의 현설비를 여러 대의 도전설비로 교체하는 경우, 1 대의 현설비를 1 대의 도전설비로 교체하는 경우, 여러 대의 현설비를 여러 대의 도전설비로 교체하는 경우 등으로 구분하고 분석하여 최적그룹교체정책을 결정할 수 있는 해법을 제시하였다.

2. 설비교체에 관한 기존이론

설비교체문제를 모형화하기 위하여는 현실적으로 여러가지 제약이 따르게 되므로 제약조건을 가정하고, 모형을 정립하는 경우가 많다. 이러한 가정을 통하여 현존하는 설비교체모형의 이해를 쉽게 할 수 있으며, 새로운 설비교체모형을 구축하는 데 도움이 될 수 있다.

설비교체모형에 대한 가정은 Morris[5]에 의해 최초로 제안되었으며, 그는 설비교

체문제의 가정을 다음의 5 가지 항목으로 구분하였다.

- 1) 계획기간(Planning Horizon)
- 2) 기술의 변화(Technological Change)
- 3) 설비의 수명에 걸친 비용항목의 예측
(Predictions of Cost Patterns over Asset Life)
- 4) 이자율(Interest Rate)
- 5) 자본의 가용도(Availability of Capital)

Morris[5]는 이상의 항목에 근거하여 설비교체문제의 개발에 있어서 결심변수로 유한계획기간문제, 기술적 진보문제, 변동비용문제, 이자율의 문제 그리고 재정적인 제한조건의 문제를 혼합하여 설비교체문제를 구체화하였다.

또한 Meyer[4]는 설비투자기회의 불확실성, 초기투자비용, 기술변화, 설비수명에 걸친 서비스의 정도, 잔존가치, 운용 및 보전비용, 세금 그리고 설비의 감가상각에 관한 문제를 고려한 후 투자요구, 설비수명, 잔존가치, 최소희망수익률, 연간비용, 총수입의 현가 등에 근거하여 설비교체대안을 선정하는 방법을 제시하였다.

지금까지의 설비교체문제에 관한 연구를 모형화하기 위한 가정에 근거하여 정리하여 보면 크게 구조적 가정(Structural Assumptions), 현실적 가정(Realistic Assumptions), 서술적 가정(Descriptive Assumptions) 그리고 단순화 또는 제한적 가정(Simplifying or Limiting Assumptions)으로 구분할 수 있다.

구조적 가정에 근거한 설비교체모형이란

설비를 물리적 시스템의 모형으로 분석적으로 구축하는 방법이다. 예를들면 설비시스템을 마코브 체인을 사용하거나, 직·병렬 시스템을 사용하여 분석한 후 설비교체모형을 수립하는 경우이다.

현실적 가정에 근거한 설비교체모형이란 설비교체모형에 현실적인 내용을 주입하는 것을 의미한다. 즉 현실적으로 고려되는 예산의 제한, 수리비용의 제한, 수리 및 교체시간의 제한 등을 고려한 설비교체모형을 의미한다.

서술적 가정에 근거한 설비교체모형이란 설비교체모형의 속성과 특징을 구체적으로 명시하기 위하여 필요하다. 즉 설비교체모형구축시 확정적인 비용과 확률적인 비용중한 가지를 어느 한도까지 고려할 것인가, 또는 기술진보의 정도를 어떤 단계로 구분할 것인가, 계획되지 않은 설비교체의 경우 벌과금을 어떤 방식으로 부과할 것인가, 현재 고려되는 설비교체모형의 경우 다른 설비와의 관계는 독립적인가 또는 종속적인가 등을 고려하는 설비교체모형을 의미한다.

단순화 또는 제한적 가정에 근거한 설비교체모형이란 설비교체모형에 대한 제한조건을 부여하기 위하여 필요하다. 예를들면 설비교체시 어느 정도의 교체시간이 필요하고, 이러한 교체시간은 임의의 확률분포함수로 볼 수 있으나, 이러한 확률분포함수를 정확히 구하기 어려우므로 이를 단순화하여 경험적인 확률분포함수에 따른다고 가정한 후 설비교체에 소요되는 시간은 무시할 수

있을 정도로 작다고 가정하여 수리는 즉시 이루어진다고 보는 것이다.

3. 기술혁신에 대응한 그룹설비 교체의 모형화

전체적인 생산시스템환경하에서의 기계부품 배치문제는 Webster와 Reed[10]가 최초로 제시하였다. Webster와 Reed의 설비배치모형을 요약하면 다음과 같다.

① 목적함수

그룹설비교체정책의 목적함수로는 운용이익을 최대화하기 위하여 설비자체의 비용과 설비간의 운반비용의 2 가지 비용요소로 구성하였다. 설비교체에 따른 총비용은 다음의 식 (1)과 같이 정리할 수 있다.

$$\sum_p^i \sum_k^j \sum_m^k \sum_s^l C_{mt_{pkm}} Y_{pkms} \text{ ----- (1)}$$

여기서

C_m = 기계 m의 단위시간 사용에

따른 가공비용

$$= \sum_{e=1}^L g_e U_{em}$$

U_{1m}, U_{2m} : 단위시간당 m 기계의 필요자원량

g_1, g_2 : 단위당 투입자원비용

L : 투입자원의 종류

t_{pkm} = m 머시닝센터에 할당된 부품 p의 k번째 공정을 수행하는 데 필요한 가공시간

Y_{pkms} = k번째 공정의 s번째 기계에서 m번째 기계로 가는 부품 p의 합계

설비의 운반비용은 다음과 같이 식 (2)로 정리할 수 있다.

$$\sum_p^i \sum_k^j \sum_m^k \sum_s^l W \frac{1}{\alpha} d_{ms} Y_{pkms} \text{ ----- (2)}$$

여기서,

W = 운반거리에 따른 단위당 비용

α = AGV 시스템의 평균이용률

d_{ms} = s기계에서 m기계까지의 운반거리

여기서 $d_{ms} Y_{pkms}$ 는 단지 자동운반차(AGV)의 이송량에 따라 계산되므로 평균이용률 요인 α 는 AGV의 빈차 운송회수로 측정된다.

운용이익의 최대화함수를 OP로 정의하면 OP는 다음과 같이 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_p^i \pi_p Q_p \\ & - \sum_p^i \sum_k^j \sum_m^k \sum_s^l [C_{mt_{pkm}} + W \frac{1}{\alpha} d_{ms}] Y_{pkms} \text{ ----- (3)} \end{aligned}$$

여기서

$\pi_p Q_p$ 중 Q_p 는 부품 p의 판매량이고,

π_p 는 판매가격에 따른 수익의 공헌도이므로 다음의 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$Q_p = \sum_s^l Y_{pkms} \text{-----}(4)$$

식 (4)는 m 머시닝센터에 할당된 부품 p의 k 번째 작업의 최적해를 의미한다. 따라서 운용이익함수인 OP는 생산 및 판매수준에 따라 수익과 비용이 변화한다.

② 제한식 집합

그룹설비교체정책에서 2가지 제한식의 집합을 설정하였다. 첫번째 제한집합은 설비간 자재흐름의 동일성을 보장하기 위한 논리적 제한집합(Logical Constraints)이다. 예를들면 각각의 기계설비에 투입되는 부품의 수는 식별가능한 양이 투입되고, 동일한 양이 다음 기계설비로 투입된다.

두번째 제한집합은 할당제한집합(Allocation Constraints)으로 다양한 투입자재, 기계의 능력(용량)과 자재취급시스템 용량의 제한상한을 의미한다.

흐름의 동일성에 대한 제한집합은 조건의 논리적 제한식이므로 모든 부품에 대하여 다음과 같은 식 (5)로 정리할 수 있다.

$$\sum_s^l Y_{pkms} = \sum_m^k Y_{pkrm} \text{-----}(5)$$

여기서,

Y_{pkms} = 기계 s에 대하여 (k-1)번째 작업이 수행된 부품 p의 합계

Y_{pkrm} = 기계 r에 대하여 (k+1)번째 작업이 수행된 부품 p의 합계

할당제한집합은 투입자원합계의 제한상한 조건, 기계용량의 제한상한조건 그리고 자재취급의 제한상한조건으로 구분할 수 있으며, 투입자원의 제한상한 조건식은 다음의 식 (6)으로 정의할 수 있다.

$$\sum_p \sum_k \sum_m \sum_s U_{em} t_{pkm} Y_{pkms} \leq U_e, \quad l = 1, 2, \dots, L \text{-----}(6)$$

여기서,

U_e = 1 번째 투입자원의 합계

L = 총 투입자원의 수

또한 기계용량의 제한상한 조건식은 다음과 같이 식 (7)로 정의할 수 있다.

$$\sum_p \sum_k \sum_s t_{pkm} Y_{pkms} \leq T_m, \quad \forall_m = 1, 2, \dots, M \text{-----}(7)$$

여기서

T_m = 기계 m의 용량

M = 설비시스템을 구성하는 기계의 총수

끝으로 물류취급시스템의 제약상한 조건식은 다음의 식 (8)로 정의할 수 있다.

$$\sum_p^i \sum_k^i \sum_m^k \sum_s^l \frac{1}{\alpha} d_{ms} Y_{pkms} \leq D \text{-----}(8)$$

여기서,

D = 자재취급시스템의 용량

Webster와 Reed의 모형은 운용이익을 최대화하는 그룹설비교체모형이다. 그러나 본 논문에서는 자본비용까지 고려한 그룹설비교체모형을 제안하였다.

본 논문에서 제안하는 최적그룹설비교체대안의 선정절차와 목적함수는 다음과 같다.

(절차 1) 가능한 설비교체대안을 설계한다.

생산시스템을 구성하는 전체 기계설비의 수는 생산시스템의 초기 기계설비대수를 초과할 수 없다. 이 경우 d 대의 현설비를 n 대의 도전설비로 교체하는 방안으로 구성된 집합을 $N(n, d)$ 라 하면, 가능한 설비교체방법의 수는 다음의 식 (9-1), (9-2)로 나타낼 수 있다.

$$N(n, d) = \sum_{c=1}^d nCc + \sum_{c=1}^{d-1} \sum_{a=1}^{d-c} nCc dCa, \quad n \geq d$$

----- (9-1)

$$N(n, d) = \sum_{c=1}^n nCc + \sum_{c=1}^n \sum_{a=1}^{d-c} nCc dCa, \quad n < d$$

----- (9-2)

이제 M 대의 기계설비로 구성되는 생산시스템중에서 부분적으로 d 대의 기계설비를 교체하는 설비교체문제를 고찰하기로 한다. 보다 일반화하여 하나의 현설비 혹은 여러대의 현설비로 구성되는 기계그룹을 하나의 도전설비나 도전설비그룹으로 교체하는 경우를 고려한다.

(절차 2) 설비간의 거리, 설비의 투입요소에 대한 소비율과 단위당 비용, 설비의 부

품형태별 기계작업시간, 자원의 상한제한 등을 고려하여 가능한 설비교체대안에 대한 부품별 최적 생산량을 구한다.

(절차 3) 각 설비교체대안에 대하여(절차 2)에서 구한 부품별 최적생산량을 기준으로 손익분석을 실시하고 운용이익(OP)을 계산한다.

(절차 4) 설비의 기초장부가격과 기말장부가격에 의거 감가상각비를 구하고, 주어진 파세율과 자본비용을 사용하여 식 (10)에 의거 설비교체대안별 순이익을 계산한다. 이것이 바로 목적함수가 된다.

M 대의 기계설비로 구성되는 생산시스템을 고려하여 보기로 한다. 각 기계의 감가상각액을 D_i ($i=1, 2, \dots, M$) 이라고 하고, 기계설비의 초기 장부가격을 W_i ($i=1, 2, \dots, M$)이라고 하고 기계의 잔존가치는 장부가격과 동일하다고 가정할 때 생산시스템의 순이익은 다음의 식 (10)으로 나타낼 수 있다.

$$\text{순이익} = \text{운용이익} - \text{세금} - \text{자본비}$$

$$\begin{aligned} &= OP - \rho \left[OP - \sum_{i=1}^M D_i \right] \\ &\quad - (1+r) \sum_{i=1}^M W_i + \sum_{i=1}^M [W_i - D_i] \\ &= OP - \rho \left[OP - \sum_{i=1}^M D_i \right] \\ &\quad - r \sum_{i=1}^M W_i - \sum_{i=1}^M D_i \end{aligned}$$

$$= (1-\rho)[OP - \sum_{i=1}^M D_i] - r \sum_{i=1}^M W_i \quad (10)$$

여기서, ρ 는 세율이고,
 r 은 자본비율이다.

OP_j 를 생산시스템 j 의 최적운용이익이라고 정의하면, 전략적인 관점에서 설비의 최적교체정책이란 최대이익을 가져오는 설비를 선택하는 것이므로 다음과 같이 식 (11)로 나타낼 수 있다.

$$Max_j [(1-\rho)(OP_j - \sum_{i=1}^{M_j} D_i) - r \sum_{i=1}^{M_j} W_i] \quad (11)$$

여기서 $j=1, 2, \dots, N(n, d)$ 까지이고,
 M_j 는 j 번째 시스템의 기계혼합(Machine Mix)을 의미한다.

(절차 5) 식 (11)에 의거 순이익이 가장 큰 설비교체대안을 최적그룹설비교체대안으로 선정한다.

이상과 같은 절차에 의거하여 구한 그룹설비교체정책의 최적해는 설비교체에 따른 이익을 최대화할 뿐만 아니라 설비교체후 설비간의 상호관계도 파악할 수 있다.

4. 결 론

지금까지의 설비교체문제는 주로 단일설

비교체문제를 다루었기 때문에 유연생산시스템이나 자동생산시스템에서 발생하고 있는 기계설비그룹으로의 그룹설비교체문제에 관한 연구는 미비한 실정이었다. 그러나 현실적으로는 유연생산시스템이 보편화되면서 이러한 그룹설비교체문제가 매우 필요시되고 있다. 따라서 본 논문에서는 기술진보에 따라 발생하고 있는 유연생산시스템의 그룹설비교체문제의 모형을 구축하고, 이를 해결할 수 있도록 하였다.

이러한 그룹설비교체문제에서 가장 어려운 점은 전체시스템중 하나의 설비나 일부분의 설비를 교체할 경우 전체시스템의 효율에 어느 정도의 영향을 주느냐 하는 상호교환적인 문제를 파악하는 데 있다. 따라서 이를 분석하기 위하여 본 논문에서는 각 기계 설비간의 작업부담에 중점을 두어 이러한 내용을 분석하기 위한 요인으로 설비의 유연도, 생산용량, 자재취급용량, 투입-산출단위 등을 고려하였다.

목적함수는 설비비용을 고려한 운용이익의 최대화로 하였고, 모든 설비교체정책에 대한 경제성을 분석하였다. 의사결정대안으로는 현설비를 그대로 사용하는 경우, 여러 대의 현설비를 1대의 도전설비로 교체하는 경우, 1대의 현설비를 여러 대의 도전설비로 교체하는 경우, 1대의 현설비를 1대의 도전설비로 교체하는 경우, 여러 대의 현설비를 여러 대의 도전설비로 교체하는 경우 등으로 구분하여 분석할 수 있는 모형을 제시하였다.

따라서 본 논문에서 제시한 그룹설비교체 정책의 해법을 사용할 경우 일반적인 수치 제어 공작기계(NC Machine), 유연생산시스템(FMS) 그리고 대규모 자동생산시스템등으로의 설비교체시 발생하는 설비상호간의 관련성이나 운반비용등을 고려한 전체의 생산설비시스템을 하나로 본 최적그룹교체방안을 선정할 수 있다. 이 결과 자동화 생산 공정으로 인원절감 및 능률향상을 도모할 수 있으며, 생산설비에 가변성을 갖게 할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 그룹설비교체정책은 유연생산시스템의 설비교체 정책으로 매우 현실적이며 적합하다.

참 고 문 헌

- [1] Bellman R. (1955) "Equipment Replacement Policy", Journal of Society Industrial Applied Mathematics, Vol.3, No.1, pp.133-136
- [2] Kusaka, Y., and Hisatoshi, S.(1988), "Equipment Replacement with Consideration of Technological Advances-Determination of Replacement Times by Control Limit Policy-," Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol. 31, No. 3, pp. 389-411
- [3] Meyer, B. C. (1993), "Market Obsolescence and Strategic Replacement Models", The Engineering Economist, Vo.38, No.3, pp. 209-221
- [4] Meyer, R. A. (1971), "Equipment Replacement Under Uncertainty, "Management Science, Vol. 17, No. 11, pp. 750-758.
- [5] Morris, W. T. (1964), The Analysis of Management Decision, Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, Inc.
- [6] Oakford, R. V., Lohmann, J. R., and Salazar, A. (1984), "A Dynamic Equipment Replacement Economy Decision Model," IIE Transaction, Vol. 16, 1, pp. 65-72
- [7] Sethi, S., and Chand, S.(1979), "Planning Horizon Planning Horizon Procedures for Machine Replacement Models," Management Science, Vol. 25, No.1, pp. 140-151
- [8] Smith, V. L. (1966), Investment and Production, Cambridge, Mass.: Harvard University Press
- [9] Terborgh, G. (1949), Dynamic Equipment Policy, New York: McGraw-Hill Book Co., Inc.
- [10] Webster, D. B. and R. Reed, Jr., (1971), "A Material Handling System Selection Model," AIIE Transactions, Vol.3, No.1, pp.13-21