

FMS의 設備交替計劃에 대한 經濟的 評價模型 —Economic Evaluation Model of FMS Replacement under Technological Progress—

李 相 鐵*
河 正 鎮**

Abstract

Recently, in FMS composing of various automatic equipments, the machines with lower operating costs, and with higher operating costs and replacement costs resulting from deterioration have been appearing successively as a result of rapidly advances in technology. "Control Limit Policy"[1] by using Markov decision policy, a kind of optimal economic replacement decision, well reflects and represents this environment. In this paper, it is reviewed that the decision method of the forecasted replacement alternatives in planning horizon under technological advances is derived. The proposed method is applied to a numerical example and some characteristics are examined by sensitivity. It is clarified that the method is relatively insensitive to changes of parameters at the present decision.

1. 序 論

기존의 設備交替 意思決定 연구에서는 주로 費用要素를 고려한 연구로서, Terborgh[2]는 技術進歩와 관련한 交替問題를, Bellman[3]은 DP에 의한 무한 계획기간내에서의 交替問題를, 한편 Dreyfus[4]는 유한계획기간내에서 각 意思決定時點마다 다수의 交替代案을 제시하였고, 또한 Chand and Sethi[5]는 유한계획기간내에서의 첫 交替時點이 다소 큰 범위에 대한 최적계획범위를 결정하였다. 그러나 設備外의 여러가지 技術, 管理環境要素가 費用에 영향을 미침으로서 意思決定의 범주가 다양화될 수 있다. 이러한 연구로서, Nakamura[6]는 技術進歩가 設備導入費와 年費用에 영향을 미치는 交替時點의 결과를 검토하여 交替問題를 제시하였고, Lin[7] 등은 미래의 어떤 시점에서 設備導入費用과 年稼動費用에 영향을 주는 技術進歩에 대한 근사적 해결방법을 제시하였다. 또한 Kusaka and Suzuki[8]은 혁신적인 技術進歩下에서의 最適設備交替方法인 交替界限政策(control limit policy)를 제시하였다.

최근 특히, 自動化設備로 구성된 FMS에서 그 設備의 특징은 技術進歩의 빠른 성장과 더불어 運營費用이 저렴한 設備가 계속 출현하고 있다. 이러한 급속한 技術進步下에서 設備는 항상 陳腐化의 위협이 따르게 되므로, 意思決定者는 현재와 미래의 意思決定시 陳腐化 상태를 파악하여 정확하게 반영할 필요성이 절실히다. 여기서, 특히 지금의 交替與否의 결정은 대부분의 경우 중요한 사항이 되므로 현재의 意思決定에 많은 관심을 기울여야 하고, 또한 意思決定者는 현재의 결정이 그후에 일어날 미래의 意思決定에 종속된다는 사실은 주지하여야 한다. 나아가 設備交替의 필요성이 있을 때 가까운 미래에 상당한 費用의減少를 가져올 혁신적인 設備出現이 예측된다면 현재의 設備交替를 연기하는 것이 타당하다. 반면에 혁신적인 設備가 가까운 기간내에 출현하지 않는다면 하더라도 실질적으로 과학적·技術的 進歩가 일어난다는 것은 명백한 사실이다.

本研究에서는 自動設備로 구성된 FMS 環境下에서, 그 設備의 技術進歩의 특성으로 인한 初期運營費의減少, 그리고 劣化로 인한 運營費增加 및 設備導入價格의 상승 등을 잘 반영할 수 있는 交替界限政策을 제시하고 컴퓨터로서 분석하였다. 또한 事例의 數值例를 통하여 技術進歩로 인한 계획기간내의 다수의 交替代案의

* 東明專門大學 工業經營科 副教授

** 東亞大學 產業工學科 教授

이 論文은 學術研究造成費로 이루어진 것임.

접수일 1991. 8. 12.

豫測方法을 제시하고 그 타당성을 입증하였다.

2. 模型의 假定 및 設定

2.1 假定

技術進歩下에서 변화의 추세를 假定하면 製品의 量과 製品價格은 계획기간동안 예측할 수 있다. 경제적인 양적 측면에서 收獲滯減의 法則 또는 收獲滯增의 法則에 따라 一定比率로 변하는 많은 변수들이 존재하며, 과거의 경험이나 미래 技術進歩의 근사적 예측으로부터 意思決定者는 이러한 比率을 추정할 수가 있다. 따라서 本研究에서는 다음과 같은 假定을 설정하였다.

1. 特정시점에서 나타나는 新設備의 初期運營費는 技術進歩에 따라 일정한 率로 시간에 따라 变한다.
2. 新設備의 運營費는 舊設備의 運營費보다 적다.
3. 新設備의 導入價格은 技術進歩에 따라 一定率로 시간에 따라 증가한다.
4. 特정시점에서 도입된 設備의 運營費는 一定率로 시간에 따라 变한다.
5. 運營費 $NO(t, n)$ 는 技術進歩에 의존하는 導入點 t 에서의 初期運營費 H_0 와 사용기간 $(n-t)$ 에 의존하는 劣化率에 의하여 결정된다.
6. 殘價는 導入直後の 殘價와 사용기간 $(n-t)$ 에 의존하는 低下率에 의하여 결정된다.

2.2 模型의 設定

經濟的 設備交替模型에서 意思決定을 위한 特定臨界時點(critical time) 이전의 t 時點에서 新設備를 구입하여 交替하거나, 또는 그 設備를 계속 維持하는 根據를 假定하는 것이 타당하다. 그래서 評價時點 n 에서 이러한 臨界時點으로서 交替限界(control limit), C_n 을 정의할 수 있다. 여기서, 意思決定變數 D_n 은

$$D_n = \begin{cases} R(\text{交替}) & \text{if } 0 \leq t \leq C_n \\ K(\text{維持}) & \text{if } C_n < t \leq n \end{cases} \quad (1)$$

여기서, n : 評價時點

t : 導入時點

이때 C_n 을 n 시점에서의 交替限界라 한다. 또한 計劃期間 T 에 대하여 $\{C_n\}$, $n=1, 2, \dots, T-1$ 을 ‘交替限界政策(control limit policy)’라 한다. 시점 t 에서 도입한 設備의 評價時點 n 이후의 意思決定, 즉 期間 $[n, T]$ 에서의 總費用現價, $PN(t, n)$ 은

$$PN(t, n | D_n=R) = NP(n) - RC(t, n) + NO(t, n) + \alpha PN(n, n+1) \quad (2)$$

$n=1, 2, \dots, T-1$

$t=0, 1, \dots, n$

$NO(t, n)$: 導入時點 t 인 設備의 評價時點 n 까지의 運營費

$NP(n)$: 評價時點 n 에서의 新設備 導入價

$RC(t, n)$: 導入時點 t 인 設備의 評價時點 n 에서의 殘價

α : 期間當 割引率

그리고,

$$PN(t, n | D_n=K) = NO(t, n) + \alpha PN(n, n+1) \quad (3)$$

$n=1, 2, \dots, T-1$

$t=0, 1, \dots, n$

또한, $PN(t, T) = -RC(t, T)$, $t=0, 1, \dots, T-1$ 이다.

式(2)과 式(3)로서 新設備의 交替의 경우와 舊設備의 계속사용의 경우로 交替意思決定을 할 수 있다. 여기

서, 舊設備 평가액과 新設備 導入費를 비교함으로서 交替限界가 존재하는 경우를 알 수 있다. [8]

그러므로 式(2), 式(3)에서 期間 $[n, T]$ 에 대한 最適交替政策은

$$PN(t, n) = \min \begin{cases} PN(t, n | D_n=R) \\ PN(t, n | D_n=K) \end{cases} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (4)$$

$n=1, 2, \dots, T-1$
 $t=0, 1, \dots, n$

$$PN(t, T) = -RC(t, T), \quad t=0, 1, \dots, T-1$$

일반적으로, 式(2), 式(3)의 最適交替政策이 式(1)의 交替界限臨界時點 C_n^* 에 의해 주어질 때 最適交替界限政策이 세시된다. 즉, $|C_n^*|$ 가 존재한다면,

$$D_n = \begin{cases} R & \text{if } t \leq C_n^* \\ K & \text{if } t > C_n^* \end{cases} \dots \dots \dots \quad (5)$$

運營費函數 $NO(t, n)$ 과 殘價函數 $RC(t, n)$ 은 設備가 도입된 t 시점과 使用期間($n-t$)에 의존하는 劣化費用에 의하여 결정된다. 그리고 경제적 현상에서 많은 變數들은 減少 또는 增加하는 回收率의 法則에 따라 一定率로 变한다. 더욱이, 意思決定者는 과거의 經驗으로부터 이러한 變數를 推定하기도 하며, 미래의 技術進歩에 대하여 근사한豫測을 하기도 한다. 本研究에서는 이러한 상황과 交替界限가 존재하는 假定을 만족하고 簡便性을 위하여 $NO(t, n)$, $RC(t, n)$, $NP(t)$ 를 指數函數形態를 취한다고 假定하면 式(6)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{NO}(t, n) &= H_0 \tau^t \rho^{n-t}, \quad H_0 = H(0, 0) > 0, \quad \rho > 1, \quad \tau < 1 \\ H_0 &: \text{기술進歩에 의한 初期操業費用} \\ \tau &: \text{기술進歩에 의한 初期運營費 減少率/期間} \\ \rho &: \text{劣化 등으로 인한 運營費 增加率/期間} \\ \text{NP}(t) &= R_0 \delta^t, \quad R_0 = NP(0), \quad \delta > 1 \\ R_0 &: \text{設備修理保全費用} \\ \delta &: \text{設備導入價格의 增加率/期間} \\ \text{RC}(t, n) &= \beta NP(t) \Phi^{n-t}, \quad 0 < \beta < 1, \quad 0 < \Phi < 1 \\ \beta &: \text{導入直후의 殘價 下落率/期間} \\ \Phi &: \text{殘價의 減少率/期間} \end{aligned} \quad (6)$$

3. 數值例

3.1 母數推定節次

交替界限模型에서 사용되는 母數의 추정 절차를 다음과 같이 제시하고, 또한 이에 의해 나온 母數들을 사용하여 암에서 성명한 模型의 적용 가능성을 computer에 의해 서해석하고자 한다.

step 1 : 應用對象設備에 대한 다음의項目을 숙지하다

項 目	數 值
생산금액/month	175(만원)
생산능력금액/hour	1.12(만원)
노무비/man	54.4(만원)
전력소비량/hour	30(KW)
자동률	68(%)
생산금액 증가율/year	5.5(%)
자동률 증가율/year	2.2(%)

step 2 : step 1의 Table을 이용하여 初期運營費를 계산한다. 이를 이용하여 다음의項目을 계산한다[計劃期間은 10年(1990-1999)로 한다].

項目\年度	'90	'93	'96	'99
勞務費/man-month(만원)	54.4	66.6	81.6	100.0
生產時間/moth(hour)	229.8	182.6	146.6	116.9
勞務費/year(만원)	750.1	729.7	717.8	701.4
經費/year(만원)	428.7	375.0	332.0	293.6
初期運營費/year(만원)	1178.8	1104.7	1049.8	995.0

step 3 : step 2의 初期運營費項目을 log-log表에 plot하여 初期運營費의 減少率(技術進步率) τ 를 推定한다. 본 數值例의 推定值는 $\tau = 0.9111/\text{year}$ 이다.

step 4 : 每年 導入된 設備 運營費의 年 变化率를 추정한다.

t\n	'90	'93	'96	'99
'90	1178.8	1347.6	1554.4	1807.7
'93		1104.7	1268.9	1470.0
'96			1049.8	1211.3
'99				995.0

step 5 : step 4의 年間運營費를 導入年別로 log-log表에 plot하여 運營費 增加率 ρ 를 近似推定한다. 본 數值例에서의 推定值는 $\rho = 1.0471/\text{year}$ 이다.

step 6 : 適用對象設備의 위와 같은 推定值와 實積值로서 模型의 入力母數를 정리한다.

入力母數	數 值
τ	1178.8/year(만원)
ρ	0.0475/year
R_0	986.7(만원)
δ	1.0200/year
β	0.
Φ	0.005/year
α	0.90/year

3.2 結果分析 및 考察

앞에서 구한 入力母數를 이용하여 交替意思決定의 交替限界領域은 Figure 1과 같다.

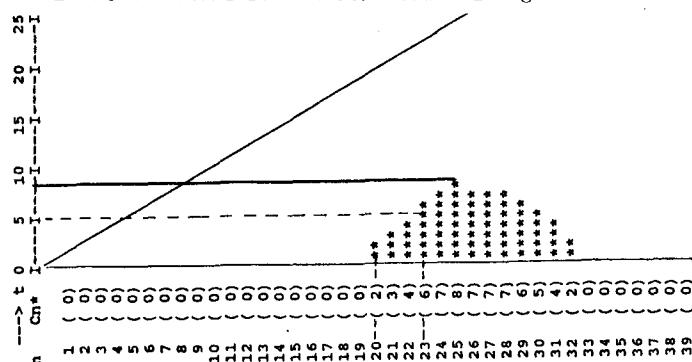


Figure 1. Optimal Replacement limit region of 3.1 example

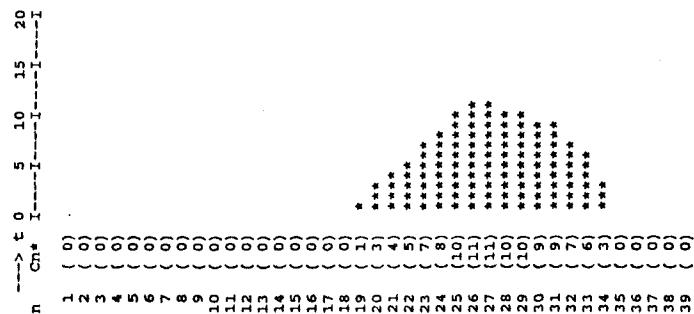
Figure 1에서 보면, 본 數值例에서는 經濟的 交替時期 $C_1^* = 20$ 즉, 5년으로 나타났다. 만약 현재의 시점보다 5分期間 설비를 더 사용하면 설비는 23分期째 交替하는 것이 최적임이 나타났다. 또한 8期째 이후에 도입한 설비라면 計劃期間(40기)내에서는 交替하지 않고 새로운 설비가 나타날 때까지 유지하는 것이 유리하다. 따라서 Figure 1에서 나온 결과의 最高點을 연결한 것이 交替界限로 설비의 상태에 따라 交替 혹은 維持를 결정할 수 있는 것이 설계된 模型의 特징이라 할 수 있다.

그리고 交替界限分析에 의한 最適設備 交替時期決定에 영향을 많이 미치는 因子들에 대하여 C_1^* 의 敏感度分析은 Table-1과 같다.

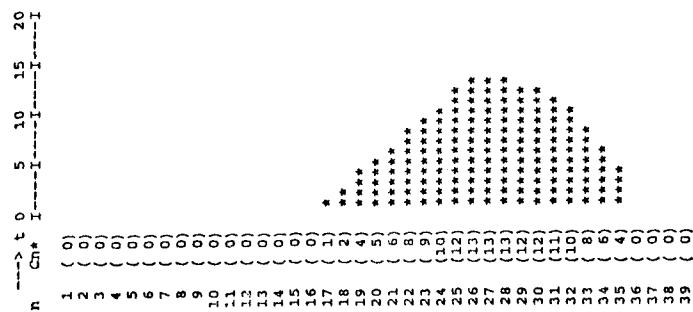
Table-1. Sensitivity analysis of C_1^* desision

H/R	C_1^*	τ /year	C_1^*	ρ /year	C_1^*	δ /year	C_1^*
0.50	—	0.9900	20	1.0200	—	1.0100	20
0.75	—	0.9811	20	1.0400	—	1.0250	20
1.00	20	0.9600	19	1.0495	20	1.0400	20
1.19	20	0.9400	18	1.0600	19	1.0600	19
1.50	19	0.9200	17	1.0800	18	1.0800	19

Figure 2에서 保全費를 고정할 때, 初期運營費의 變화, 즉 H/R 比率變化를 보면 基準値인 H/R=1.19와 비교하여 H/R값이 0.75와 0.50일 때는 本研究에서 交替界限값이 나타나지 않았다. 이것이 初期運營費가 아주 감소되는 즉, 혁신적인 技術進步가 있는 설비의 출현이 기대되므로 交替를 연기하는 것이 타당함을 의미한다. H/R값이 1.50일 때는 交替時期가 19期째로 基準數值例와 비교하여 첫 交替時期는 비슷한 결과를 가져왔으나 交替範圍가 넓어짐을 알 수 있다.

Figure 2. Replacement limit region of $H/R=1.50$

技術進步率(τ)이 0.9800/year 이하일 때는 첫 設備交替時期가 20기째 나타났으며, $\tau = 0.9600/\text{year}$ 일 때는 19期, $\tau = 0.9400/\text{year}$ 일 때는 18期, $\tau = 0.9200/\text{year}$ 일 때는 17期째로 단축되었으며 基準數值例와 비교하여 交替範圍도 커짐을 알 수 있다. Figure 3은 $\tau = 0.9200/\text{year}$ 일 때의 交替界限範圍이다.

Figure 3. Replacement limit region of $\tau = 0.9200/\text{year}$

劣化로 인한 運營費 增加率(ρ)과 설비의 修理保全費用 增加率(δ)이 커질수록 最適交替時期는 단축되며,劣화에 의한 運營費 增加率에 더 많은 영향을 받음을 알 수 있다. Figure 4와 Figure 5는 ρ 와 δ 의 변화에 대한 한 예이다.

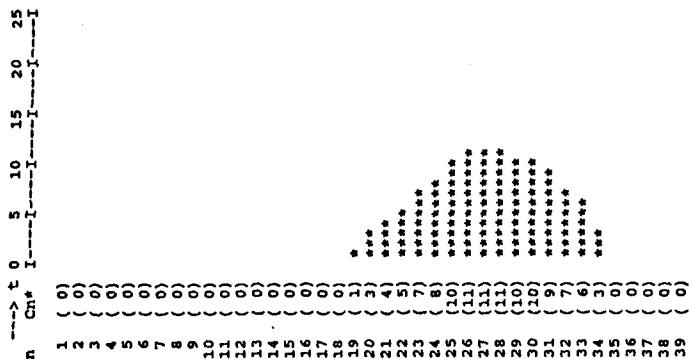
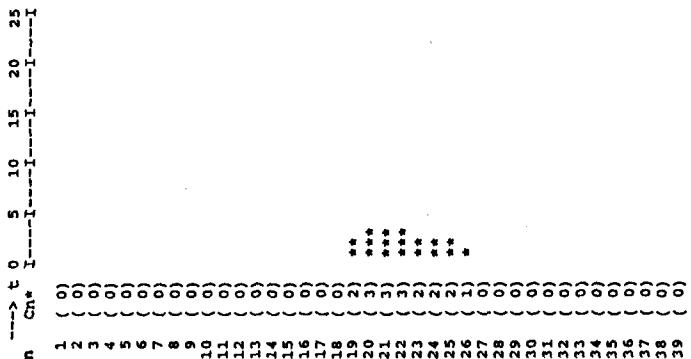


Figure 4. Replacement limit region of $\rho = 1.0600/\text{year}$



4. 結 論

本研究는 交替限界模型을 사용하여 설비의 經濟的 交替時點을 결정하는 것으로서 技術進步를 고려한 設備交替意思決定法이라고 할 수 있다.

일반적으로 技術進步는 설비의 經濟的 交替時期를 단축시키는 경향이 있다. 따라서, 技術進步下에서는 繼續設備交替時點을 예측할 필요가 있는데 이러한 경우에 있어서는 本研究에서 제시한 模型의 適用이 容易하고 實質的이라고 생각된다. 또한 本研究에서 제시한 模型을 自動設備로 構成된 FMS環境下에 设비로서 實際 數值例를 적용하여 봄으로써 交替代案의 豫測方法과 제시된 模型의 妥當性을 입증하였다.

References

1. Y. Kusaka, "Equipment Replacement under Technological Advances," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 29(2), 1986.
2. G. Terborgh, *Dynamic Equipment Policy*, McGraw-Hill, New York, 1949.
3. R. Bellman, "Equipment Replacement Policy," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 3(3), 133-136, 1955.

4. S. E. Dreyfus, "A Generalized Replacement Study," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 8(3), 425-435, 1960.
5. S. Chand and S. Sethi, "Planning Horizon Procedures for Machine Replacement Models with several Possible Replacement Alternatives," *Naval Research Logistics Quarterly*, 29(3), 483-493, 1982.
6. Z. Nakamura, "A Study of Equipment Replacement Problem—A Case where Equipment Purchase Price and Net Profit Change according its Replacement Time and Use Periods-(in Japanese)," *Keiei-Kagaku* (Management Science), 10(3), 148-159, 1984.
7. B. Lin, J. Lee and S. Senju, "Study on Replacement under Technical Progress—On the Properties of Optimal Solutions-(in Japanese)," *Journal of Japan Industrial Management Association*, 35(6), 393-397, 1985.
8. Y. Kusaka and H. Suzuki, "Equipment Replacement Behavior under Innovative Technological Advances," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 33(1), 1990.