

最適設備保存에 관한 研究

(A Study for the Maintenance of Optimal Man—Machine System)

高 龍 海 *

Abstract

As enterprises are getting bigger and bigger and more competecious, an engineering economy for the maximization of profit based on basic theory must be considered.

This thesis present dynamic computer model for the decision which controls complicated and various man-machine system optimally. This model occur in general stage can be adaptable to every kind of enterprises.

So, any one who has no expert knowledge is able to get the optimal solution.

And decision tree used in this paper can be applied in every kinds of academic circles as well as whole the industrial world.

This paper studied optimal management of engineering project based upon basic theory of engineering economy.

It introduces and functionizes the variables which generalize every possible elements, set up a model in order to find out the variable which maximize the calculated value among many other variables.

And the selected values are used as decision-marking variables for the optimal management of engineering projects.

It found out some problem of this model.

They are :

1. In some kinds of man-machine system it refers to probability, but other case, it depends on only experimental probability.
2. Unless decision making process (decision tree) goes on, this model cannot be applied.

So these cases, this paper says, can be solved by adapting finite decision tree which is analyzed by using the same technic as those in product introduction problem.

And this paper set up the computer model in order to control every procedure quickly and optimally, using Fortran IV.

1. 序 論

이제까지는 우리나라의 企業은 設備管理에 대한 意思決定에 있어서 資本力 未備와 落後된 技術, 특히 經營者의 管理概念에 대한 理解不足으로 科學的인 方法보다는 主觀的이며 卽興的인 方法에 의하여 行해지고 있다고 생각된다. 그러나 設備管理에 대

한 問題가 認識不足으로 계속 소홀히 取扱된다면 어떠한 일이 일어날 것인가? 예컨대, 設備投資를 행하는 경우, 이의 成敗는 企業의 興亡을 左右하는 커다란 問題인데도 아직도 安逸한 思考方式으로 決定되고 있다면 이는 정말 危險天萬한 일이 아닐 수 없다.

지금까지 經營科學分野에서는 設備의 新設과 更新 및 保存 등 個個의 경우에 따라 그 目的에 맞는 解를 얻기 위한 技法으로 原價比較法, 資金回收期間

* 明知實業專門大學 工業經營科 專任講師

法, 投資收益率法과 生産能率의 維持向上에 대한 保存으로서 檢査와 修理의 時期 및 方法에 대하여 斷片的으로 研究되었다. 하지만 이 技法들은 直接 實際問題에 應用하기에는 많은 問題點을 지니고 있다.

첫째 大部分의 設備管理分野의 實務者들이 經營科學에 관한 專門知識이 없어 應用이 곤란하고, 둘째 意思決定의 關鍵을 쥐고 있는 經營者들의 理解를 얻기 힘들고, 셋째 設備管理의 基本 data가 되는 設備의 內容을 明確히 한 設備履歷部, 設備臺帳 등에 관한 資料와 그 體制가 未備되고 있는데 그 原因이 있으며 또한 現代企業에서 取扱되고 있는 設備는 그 規模가 大型化되어가고 있을뿐만 아니라 種類도 多樣하고 複雜하며 이것을 人力에 의해서 數學的 技法으로 解를 구한다는 것을 대단히 어려운 일이다. 이와 같은 問題點만을 잘 補完될 수 있다면 아무 커다란 어려움 없이 理想的으로 잘 處理해 나갈 수 있을 것이다.

그런데 多幸히 最近에 와서 computer의 開發과 普及으로 system simulation technique에도 많은 發展을 가져왔고 活用範圍가 廣闊하게 되어 여기서 얻어지는 情報는 대단히 有用하게 活用되고 있다.

本論文에서는 engineering economy의 基本理念에 立脚, 設備管理의 最適化를 기하기 위해서 可能한 모든 要素들을 一般化할 수 있는 變數를 導入, 函數化하고 各 變數들에 의하여 計算한 값이 最大가 되는 變數를 찾아낼 수 있도록 model을 設定하였으며 그때의 最大値를 決定한 變數들을 設備管理의 最適化를 기하기 위한 意思決定 變數로 使用하였다. 또한 이를 힘들이지 않고 迅速히 處理할 수 있도록 computer model을 設定하고 language도 FORTRAN IV를 使用하였다.

2. 本 論

設備의 保存과 交替에 관한 問題를 解決하는데 있어서 가장 科學的이고 合理的인 結定을 내리기 위해 OR 技法의 하나인 dynamic programming의 technique decision tree를 使用하여 最適의 意思決定을 얻을 수 있는 方法을 研究하였다. 또한 設備管理에 대한 問題를 computer model化를 하기 위한 基本的인 背景으로는 機械가 주어진 作業時間에 나타나는 故障率의 分布를 time department problem으로 하여 dynamic problem을 使用하였다.

2·1 Maintenance

機械가 故障나는 경우를 假定해 보자. 이러한 경우에는 다음과 같은 費用이 發生한다. 즉, 機械가 作業하지 않는 時間, 潛在販賣의 損失, 直·間接,

勞動力의 損失, 故障난 機械가 供給하는 材料로 處理되는 工程의 遲延, scrap의 增加, 機械를 修理하는 實際費用 등이 그것이다. 이러한 것들은 全體 生産系統의 信賴性을 維持시키는 問題의 하나로 볼 수 있다. 普通 이러한 信賴性은 다음에 의해서 維持되고 改善될 수 있다.

(1) 修理機能과 從業員을 增加시키므로서 機械가 故障났을 때 機械의 故障時間이 減少된다.

(2) 흠이 있는 部品은 故障가 나기 前에 交替시키는 予防保存(preventive maintenance)을 利用한다. 어떤 危險한 段階에서는 system에 余裕를 두어서 並行으로 利用할 수 있게 한다. 이러한 方法에 의한 信賴性의 增加를 隨行하는 것은 費用이 들어가므로 그것에 들어가는 費用이 有休勞動力, scrap 損失과 같은 費用의 減少로 서로 相殺되는 한에서만 合理的인 것이 될 수 있다.

2·2 Replacement

設備는 아무리 잘 補修하여도 劣性化하여 新製時의 精度와 能力을 오랫동안 保存하기 힘들고 修理費가 增加한다. 또 高性能, 高能率의 새로운 設備가 나타나면 낡은 設備는 旧式化하여 經濟적으로 妥當하지 못할 경우가 있다. 이러한 경우 設備의 交替에 관한 決定은 만일 未來가 正確히 予測될 수 있으면 간단하다. 즉, 現存設備와 새로운 設備에 대한 決定은 양자 사이의 差異點 比較分析에서 나타나는 未來의 收入과 支出의 差異에 基本을 둘 것이다. 그러나 未來의 收入과 支出에 合理的인 資料를 提供해 주는 一般的인 rule이 없으므로 本研究에서는 이와 같은 設備의 保存과 交替에 관한 問題에 当面했을 때 이에 대한 가장 科學的이고 合理的인 決定을 내리기 위해 decision tree를 使用하여 最適의 意思決定을 할 수 있는 方法을 模索하였다.

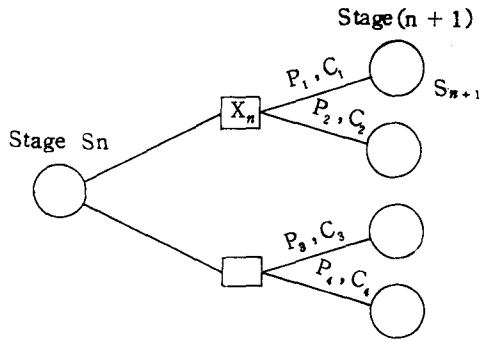
다음 그림 2·2·1은 本研究의 基本方法으로 使用된 decision tree를 說明하기 위한 간단한 圖表이다.¹⁾

그림 2·2·1에서 ○으로 表示되는 마디(node)는 意思決定權者가 任意로 選擇할 수 있는 選擇條件이며 □으로 表示되는 마디는 意思決定權者가 control할 수 없는 自然的으로 發生하는 條件이며, 가지는 發生할 수 있는 여러 가지 경우를 나타낸다.²⁾

設備管理에 대한 問題를 computer model化하기 위한 基本的인 背景은 다음과 같다.

1) C. Van de Panne, *Linear programming and related techniques*, second, North-Holland, pp.384-398.

2) 이순요, 설비관리실무, 서울: 공업경영사, p.349.



- : decision maker 가 임의로 선택할 수 있는 선택조건
- : decision maker 가 control 할 수 없는 자연적으로 발생하는 조건
- P_i : probability(확률)
- C_i : contribution from stage n(이익)

그림 2·2·1

故障時間分布는 機械가 어떤 주어진 作業時間 동안 保存活動 없이 作業을 수행할 때의 頻度數를 나타내고 주어진 作業時間을 超過하는 故障率의 分布로 나타난다. 그림 2·2·2는 故障의 頻度數를, 그림 2·2·3은 3個의 故障分布를 나타낸다. 예를 들어서, 몇개의 움직이는 部品을 갖는 간단한 機械는 修理후 거의 一定한 間隔으로 故障이 發生한다.³⁾

즉, 그림 2·2·2의 a 曲線과 같은 적은 變動性을 나타낸다. 많은 部品을 갖는 좀 더 複雜한 機械가 있다면 各各의 部品은 個個의 故障分布를 갖기 때문에 그림 2·2·2와 그림 2·2·3에서 緩慢한 變動性을 갖는다. 곡선 c는 같은 平均 故障時間 T_a 에 대해서 代表的 分布를 나타낸다. 保存에 대한 model에서는 그림 2·2·3과 같이 주어진 作業時間을 超過하는 故障率의 分布를 取扱하는 것이 보통이다. 故障率의 分布는 단순히 그림 2·2·2에서 典型化된

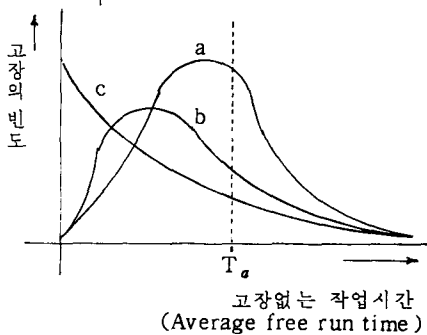
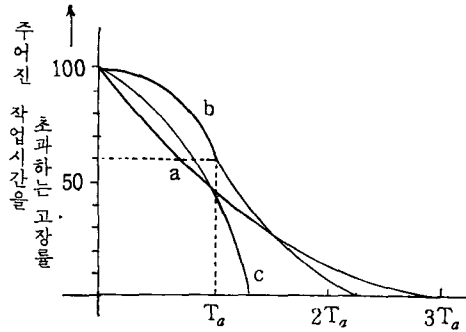


그림 2·2·2 free run time에서 세종류의 변동성을 나타내는 故障의 run time free의 頻度分布

3) Elwood S. Buffa, *Modern production operations management*, John Wiley and Sons, pp.435-436.



- 曲線 a : 平均고장시간 T_a 로부터 變動性이 적은 분포
- 曲線 b : 陰指數分布이며 變動性이 中間 程度의 분포
- 曲線 c : 높은 變動性을 나타내고 일정고정시간을 나타내는 급격한 직선으로 표시된다.

그림 2·2·3 故障率分布

것들의 free run time의 變換일뿐이다.

이제 意思決定이 이루어져야 할 2가지 種類 以上の 마디(node)가 있고 各各의 마디에 대해서 2가지 以上の 可能性이 있을 때 一般的인 경우의 典型的인 decision tree model은 그림 2·2·4와 같다.⁴⁾

$S_i(1)$; 各各의 意思決定이 이루어지는 狀態나 條件 ($i = 1, 2, \dots, n$)

$S_j(2)$; $S_i(1)$ 에서 意思決定이 이루어진 다음의 狀態나 條件 ($j = 1, 2, \dots, n$)

X_j ; 모든 未來의 意思決定狀態의 價值

Q_i^k ; 意思決定 k와 關係있는 費用

($k = 1, 2, \dots, m$)

R_{ij}^k ; 意思決定 k와 自然發生選擇 $S_j(2)$ 와 關係된 費用

P_{ij}^k ; 意思決定 k를 選擇했을 때 自然發生 $S_j(2)$ 를 選擇할 確率

이와 같을 때 意思決定 k를 選擇하였을 경우 마디 $S_i(1)$ 의 期待값은 다음과 같다.

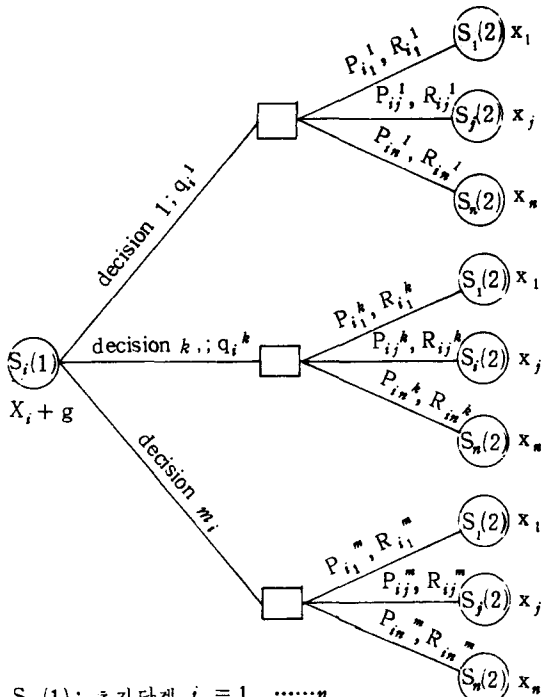
$$Q_i^k + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k (R_{ij}^k + X_j) \quad (5)$$

위式을 極大化하는 k를 選擇하여야 한다. 그러므로 $i = 1, 2, \dots, n$ 에 대하여 다음과 같다.

$$X_i + g = \text{Max}_k \left[\left(Q_i^k + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k \cdot R_{ij}^k \right) + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k X_j \right] \quad \dots \quad (式 1 \cdot 1)$$

4) R.L. Ackoff, M.W. Sasieni, *Fundamentals of Operations Research*, Wiley International Edition, 1968, p.238.

5) 6) *Ibid.*, p.237.



$S_i(1)$: 초기단계 $i = 1, \dots, n$
 $S_j(2)$: 의사결정 후의 단계 $j = 1, 2, \dots, n$
 X_j : $S_j(2)$ 에서의 가치
 q_i^k : 의사결정 i, k 의 비용 $k = 1, \dots, m$
 R_{ij}^k : 의사결정 k 와 관계된 $S_j(2)$ 의 비용(수익)
 P_{ij}^k : 의사결정 k 를 선택했을 때 $S_j(2)$ 의 확률
 g : 의사결정당 얻을수 있는 장기적인 최대평균치인 데 마다가 계속될 경우 일정

그림 2·2·4 일반적 decision tree

問題を 간단히 하기 위해서 X_1, X_2, \dots, X_n 中의 하나를 任意로 選擇한다. 즉, $X_1 = 0$ 로 놓으면 g, X_2, \dots, X_n 에 대해서 (式 1·1)은 反復的으로 풀려질 수 있다.

$$Q_i^k + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k R_{ij}^k \text{의 값은 } X_1, X_2, \dots, X_n \text{의}$$

각각의 값에 독립적이므로 그것들의 값을 한번 計算하면 計算의 처음부터 모두 같게 使用할 수 있다. 이제 그 값을 D_i^k 로 表示하기로 한다면 (式 1·1)은 다음과 같이 表示될 수 있다.

$$X_i + g = \text{Max}_k \left[D_i^k + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k X_j \right]$$

위의 方程式은 다음의 3段階로 풀어질 수 있다.

① 各各의 i 에 대해서 k 의 값들을 알고 있다고 假定하여 다음과 같은 線型方程式을 얻는다.

$$X_i + g = D_i^k + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k X_j \dots \dots \text{(式 1·2)}$$

(단, $i = 1, 2, \dots, n$)

여기서 $X_1 = 0$ 로 하고 (式 1·2)을 計算하여 X_2, X_3, \dots, X_n 와 g 의 값을 얻는다.

② 各各의 可能한 意思決定 k 에 대해서 다음의 값들을 1段階에서 찾은 X_j 의 값들을 利用하여 計算한다.

$$V_i^k = D_i^k + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k X_j$$

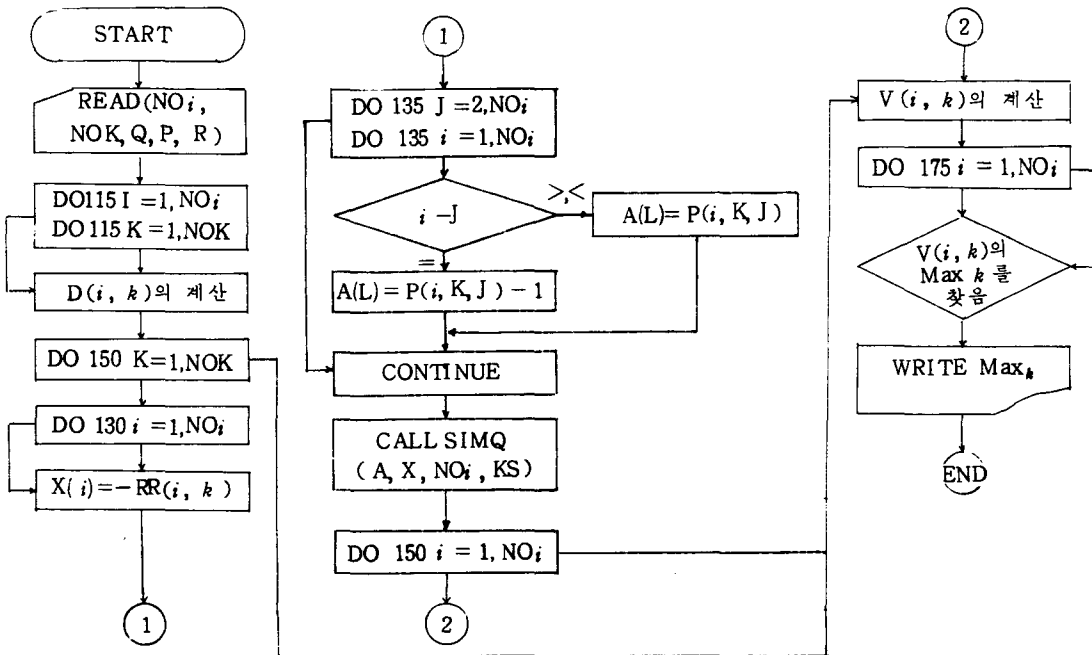


그림 2·2·5 flow chart

③ 各各의 i 에 대해서 V_i^k 를 極大化하는 k 의 값을 찾는다. 極大化하는 k 의 값들이 1段階에서 생각된 것과 같은 것이라면 생각했던 풀이는 正当한 것이지만 그렇지 못하다면 3段階에서 찾은 k 의 값을 利用해서 1段階부터 다시 反復計算한다.

計算의 마지막에서 V_i^k 를 最大化하는 k 의 값들은 最適 意思決定을 뜻하게 되고 g 의 값은 意思決定 상 얻을 수 있는 長期的인 平均値가 된다.

3. computer 를 위한 algorithm

① 각 i 에 대해 k 의 값을 假定

$$X_i + g = D_i^k + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k X_j \quad (\text{단 } i = 1, 2, \dots, n)$$

여기서 $X_1 = 0$ 로 하고 X_2, \dots, X_n, g 를 얻는다.

② ①의 X_j 의 값으로 다음을 計算한다.

$$V_i^k = D_i^k + \sum_{j=1}^n P_{ij}^k X_j$$

③ 各各 i 에 대해 V_i^k 를 極大化하는 k 를 찾는다. 여기서 얻은 k 의 값이 ①에서의 k 의 값이라면 정당화된 것이고 그렇지 못하면 ① 단계에서부터 反復된다. 여기에서의 k 의 값이 最適 意思決定을 뜻하게 된다.

4. 事 例

다음의 事例는 간단한 機械設備에 대해서 本研究에서 設定한 model을 適用하여 分析한 것이다.

仁川市 近郊 工業團地에 位置한 A會社는 輸出 廠內需用 製品으로서 自動車의 車身部分을 生産하는 業體인데 同工場에 設備된 半自動式 機械中에 간단한 種類의 部品에서 다음과 같은 資料를 얻을 수 있었다.

作業을 하고 있을 경우와 故障난 狀態일 경우를 나누어 볼 때 一週日내내 作業한 경우 10萬원의 總利益이 發生하고 一週日 동안 故障난 狀態에서는 利益이 없었다. 週初에 予防保存을 한 후 作業을 했을 때 故障난 確率は 0.1이고, 予防保存을 하지 않은 狀態에서 作業했을 때는 故障날 確률이 0.4이었다. 이때의 保存費用은 2萬원이었다. 또한 機械가 故障났을 때 交替費用은 12萬원이 所要되었고 修理해서 使用할 경우 成功率은 0.9이었다. 이때 所要된 修理費用은 4萬원이었다.

이러한 諸條件下에서 合理的인 設備保存政策을 樹立하려고 한다면 最初의 意思決定은 機械가 作業하

고 있는 狀態(W)에서는 予防保存의 與否가 決定되어야 하고 機械가 故障인 狀態(B)에서는 修理 또는 交替의 與否가 決定되어야 한다.

그림 2·2·6의 A, B는 위 問題를 decision free로 나타낸 것이다. 등근 마디는 우리가 任意로 決定할 수 있는 것이고 사각형 마디는 自然的인 것이다.⁷⁾

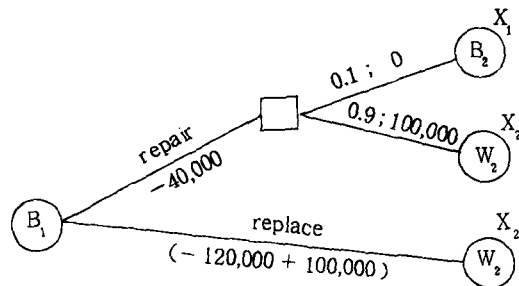
B_2 이후의 未來에서 얻을 수 있는 價值는 X_1 이고 W_2 에 대해서는 X_2 이다. X_1, X_2 를 안다면 B_1, W_1 에서 어떠한 意思決定을 할 수 있겠으나 이 값을 모르기 때문에 다음과 같은 過程이 必要한 것이다.

B_1 과 W_1 의 價值는 B_2 나 W_2 의 價值와도 어떤 利益 g 만큼 다르다.

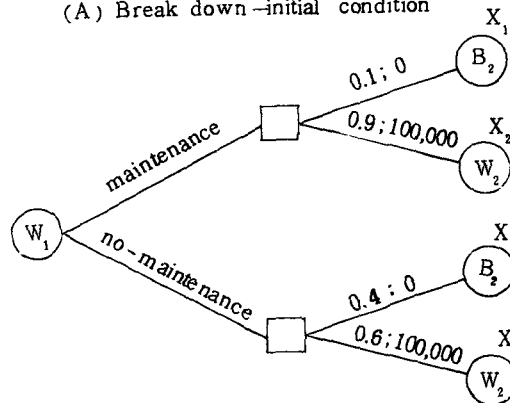
$$B_1 \text{의 價值} = X_1 + g$$

$$W_1 \text{의 價值} = X_2 + g$$

먼저 그림 2·2·6-A에서와 같이 B_1 의 狀態에 있다고 한다면 交替時는 12萬원의 費用과 ($100,000 + X_2$) 원의 利益이 있으므로 純利益은 ($X_2 - 20,000$) 원이다. 修理를 W_2 에 到達한다면 ($100,000 + X_2$)의 利益이 있고 B_2 에 到達한다면 X_1 을 얻게 된다. 各各에 대한 確率は 0.9, 0.1이고 修理費用은 4萬 원이므로 修理에 대한 期待値는



(A) Break down - initial condition



(B) Working - initial condition

그림 2·2·6 經營事例 decision tree

7) Ibid., p.235.

$$0.9(100,000 + X_2) + 0.1X_1 - 40,000 = 0.1X_1 + 0.9X_2 + 500,000$$

이다.

여기에서 修理 또는 交替與否의 決定은 바로 $(X_2 - 200,000)$ 과 $(0.1X_1 + 0.9X_2 + 500,000)$ 에 달려 있다. 이러한 決定의 값은

$$X_1 + g$$

이다. 즉,

$$X_1 + g = \text{Max} [X_2 - 200,000; 0.1X_1 + 0.9X_2 + 500,000]$$

같은 方法으로 그림 2·2·6-B에서

$$X_2 + g = \text{Max} [0.1X_1 + 0.9X_2 + 700,000; 0.4X_1 + 0.6X_2 + 600,000]$$

3개의 미지수 X_1, X_2, g 에 대해서 2개의 方程式이 있는데 이들을 檢査해보면 X_1, X_2 값에는 關係없이 어느 것이 큰 것인가 하는 決定에 있어서 一定하다는 것을 알 수 있다.

따라서 X_1 과 X_2 의 相對的 價值만 알면 되므로 任意로 하나를 택하여 0으로 한다. $X_2 = 0$ 로 할 때

$$X_1 + g = \text{Max} [-20,000; 0.1X_1 + 50,000] \dots\dots\dots (式 1·3)$$

$$g = \text{Max} [0.1X_1 + 70,000; 0.4X_1 + 60,000] \dots\dots\dots (式 1·4)$$

이 얻어진다.

聯立方程式은 反復計算法으로 푼다.

$$-20,000 > 0.1X_1 + 50,000$$

$$0.1X_1 + 70,000 > 0.4X_1 + 60,000 \text{ 라면}$$

$$X_1 + g = -20,000 \dots\dots\dots (式 1·5)$$

$$g = 0.1X_1 + 70,000 \dots\dots\dots (式 1·6)$$

(式 1·5) 와 (式 1·6) 을 풀면

$$X_1 = \frac{-900,000}{.11} = -81818.181$$

$$g = \frac{680,000}{11} = 61818.181$$

우리가 가정했던 것이 最大值인가를 檢査한다.

$$-20,000 > 0.1X_1 + 50,000$$

$$= 0.1(-81818.181 + 50,000)$$

$$= 41818.181$$

$$0.1X_1 + 70,000$$

$$= \frac{680,000}{11} > 0.4X_1 + 60,000 = \frac{300,000}{11}$$

첫번째 假定은 틀리고 두번째 假定은 맞는다. 지금 發見된 X_1 의 값을 代入했을 때 제일 큰項을 利用하여 다시 計算한다.

$$X_1 + g = 0.1X_1 + 50,000$$

$$g = 0.1X_1 + 70,000$$

여기서 $X_1 = -20,000, g = 68,000$ 이다. 바꾼 假定에 대해 다시 檢査를 한다.

$$0.1X_1 + 50,000 = 48,000 > -20,000$$

$$0.1X_1 + 70,000 = 68,000 > 0.4X_1 + 60,000 = 52,000$$

이로써 元來의 두 方程式 (式 1·3) 과 (式 1·4) 의 解로써 X_1 과 g 값이 얻어졌으며 最上의 政策은 予防保存이며 故障난 機械를 修理하여 使用하는 것이다. 위 計算의 決定事項을 要約하면 다음과 같다.

i \ k	기 대 값		결정된 k (maximize)
	k=1	k=2	
1	48,000	-20,000	1 (repair)
2	68,000	52,000	1 (maintenance)

5. 結 論

本研究에서는 企業의 大型化와 경쟁의 심화속에서 經濟性 工學의 基本理論에 立脚, 企業利潤을 最大化하기 위한 方策의 一環으로 企業에서 取扱되고 있는 복잡하고 多樣한 設備들의 最適管理의 意思決定을 위한 dynamic computer model 을 提示하였다. 一般的인 狀態에서 일어나는 이 model 은 企業規模의 大小를 막론하고 모든 業務에 適用될 수 있으며 經營科學에 대한 專門知識이 없는 者일지라도 最適解를 얻을 수 있다. 또한 이 model 에서 使用된 decision tree 技法은 學界를 비롯한 모든 産業分野에서 活用할 수 있는 것이다.

이 model 의 問題點으로 남아 있는 것을 들자면 다음과 같은 것들을 생각할 수 있다. 첫째로 어떻게 使用되는 設備에 대해서는 確率에 대해서 言及되고 있지만 그렇지 못할 경우에는 經驗的인 確率에 依存한다는 것이다. 自然發生 選擇의 問題에서도 確率問題는 一般的으로 위의 問題와 같다. 둘째로 意思決定過程(decision process)이 繼續되지 않는다면 model 의 適用이 不可하다는 點이 強調된다. 그러나 그러한 경우에는 product introduction problem 에서 採用되었던 똑같은 技法을 使用해서 分析될 수 있는 finite decision tree 를 使用할 수 있다.

參 考 文 獻

1) Ackoff, K.L., M.W. Sasieni, *Fundamentals of operations Research*, Wiley international edition, 1968.

- 2) Buffa, Elwood S., *Modern production operations management*, Sixth edition, John Wiley and Sons., 1980.
- 3) de Panne, C. Van, *Linear programming and related technique*, Second edition, North-Holland.
- 4) Murty, Katta, *Linear and combination programming*, John Wiley and Sons Inc., 1976.
- 5) Nemhauser, George L., *Introduction to dynamic programming*, John Wiley and Sons Inc., 1966.
- 6) Taha, Hamdy A., *Operations research an introduction*, Second edition, Collier MacMillan international editions, 1976.
- 7) Thierauf, Robert J., Robert C. Klekamp, *Decision making through operations research*, Second edition, Wiley international edition, 1970.
- 8) Thuesen, H.G., W.J. Fabrycky, *Engineering economy*, Fifth edition, Prentice Hall, 1977.
- 9) 김유송, O.R. 원론, 청문각.
- 10) 이순요, 설비관리실무, 서울: 공업경영사.
- 11) 강석호, *Operations Research*, 서울: 영지문화사, 1981.
- 12) 이근희, 현대설비관리, 서울: 창지사, 1979.