稼動샘플링技法에 의한 標準時間推定에 관한 硏究

(A Study for Time Standard Estimation with Activity Sampling Method)

李 根 熙*

Abstract

This study takes over the application of survey sampling theory to activity sampling and the application of activity sampling to time standard estimation.

Cluster, stratified, and multistage sampling are studied in conjunction with random and systematic sampling.

Estimation procedures that will maximize the information obtained per cost expended on the study and specification of the procedure to be used to estimate the accuracy of the estimates for the adopted procedure are considered.

The use of multiple regression and linear programming to estimate standard element performance time from typical job lot production data is also considered.

要 旨

本 硏究는 稼動샘플링(Activity Sampling)에 대한 實態調査샘플링理論의 適用과 標準時間推定에 대한 稼動샘플링의 適用에 대한 것으로, 集團·層別과 多段샘플링法을 無作爲샘플링과 體系的 샘플링과 関聯하여 硏究했다.

情報를 最大化하기 위한 推定方法은 硏究에 所要되는 費用에 따라 定해지며, 推定値의 精度를 推定하기 위한 節次의 規定도 考慮했다.

典型的 作業로트의 生産資料로부터 標準要素作業遂行時間을 推定하기 위해 多重回歸와 線型計劃의 適用도 硏究했다.

1. 序 論

稼動샘플링은 工程의 重要作業活動에 대한 時間推定이다.

一般的으로 稼動샘플링法은 대단히 廣範圍한 産業分野와 問題에 適用될 수 있다.

이러한 適用은 作業者와 設備의 規模를 決定하는 時間의 一般的 分布의 調査와 各種 遲延의 原因, 工程利用과 遂行度檢査 등을 줄일 수 있다.

여기에서 이러한 調査와 檢査는 方法改善이 어디에 必要한 것인지, 工程의 負荷를 어떻게 分配하여야 하는지 등을 意味한다.

이러한 稼動샘플링法의 適用은 事務·設備保全·倉庫業務 등과 같은 不規則하고 長週期作業의 標準時間設定에 더 重要하게 活用될 수 있다.

一般的인 時間硏究에 대해 稼動샘플링法은 經濟的이다. 다시 말하면, 時間硏究觀測者보다 熟練되지 않은 한 사람에 의해 많은 作業者와 設備를 同時에 硏究할 수 있다. 또한 이 硏究는 每日 또는 每週 適切하게 工程變化가 許容되는 相對的으로 긴 作業時間週期를 便利하게 擴張할 수 있다.

* 漢陽大學校 産業工學科敎授

더우기 作業者들도 一定한 監視가 없으므로 그들의 作業을 더욱 自然스럽게 遂行할 수가 있다.

事實上, 無作爲 또는 體系的으로 資料蒐集에 무비카메라 등을 使用하면 作業者들은 이를 알지 못한다.

工程母數의 稼動샘플링推定은 無作爲샘플링 誤差와 偏差에 따르기 때문에 이러한 節次의 統計的 考慮는 研究에 所要된 費用에 따라 求해지는 情報를 最大化하는 節次를 決定하는 데 適切하며, 規定된 節次는 採擇한 샘플링과 工程推定에 利用된다.

本 研究는 다음의 두 部分에서 이러한 問題의 모두를 考慮한다.

첫째, 稼動샘플링法에 調査샘플링理論의 適用을 考慮했다.

둘째, 標準時間 推定의 稼動샘플링法 適用에 대한 一般的 研究가 주어진다.

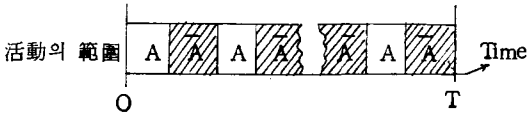

그림 1. 時間週期 〔O, T〕의 두 活動工程

2. 調査샘플링理論

稼動샘플링法의 가장 基本的이고 基礎的인 問題를 考慮해 보기 위해서는 가령 單純機械設備나 作業者가 所要하는 時間의 推定에 있어 주어진 狀態를 A라 하고 그 밖의 狀態를 $\bar{A}$라고 하면 規定된 時間週期 〔O, T〕에서 그림 1과 같은 것을 찾아 볼 수 있다.

이러한 計算은 二項分布問題와 같게 되는 多重正規分布問題가 된다.

그것은 稼動샘플링法의 施行에 實際로 重要하지 않은 것은 이러한 單純化에 의해 없어지는 것을 意味한다.

2·1 單純無作爲샘플링

A와 $\bar{A}$와 같이 工程의 活動이 어떠하던지 無作爲 觀測時間의 利用으로 母數 π에서 不偏推定値 P와 誤差分散 δ_p^2이 計算된다. 즉,

$$\pi = \frac{\text{A狀態의 工程作業時間}}{\text{總 作業時間 T}} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$P = \frac{\text{活動 A의 觀測數}}{\text{總 觀測回數}} = \frac{n_A}{n_A + n_{\bar{A}}} = \frac{n_A}{n} \quad \cdots (2)$$

P의 母分散과 推定値는

$$\delta^2 = \frac{\pi(1-\pi)}{n} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$s^2 = \frac{P(1-P)}{n} \quad \cdots\cdots (4)$$

그림 1에서 週期 〔O, T〕는 A에서 $\bar{A}$로만 한번 變化할 수 있거나, $\bar{A}$에서 A의 週期로 수많은 變化가 規則的으로 또는 不規則的으로 持續할 수 있다.

다시 말하면, 上記의 狀態는 繼續 持續되는 것이다.

어쨌든, 그것은 萬一 觀測이 偶然한 것이었든지 간에 適用되지 않거나, 觀測者에게 언제나 便利한 것이다.

偶然한 샘플이 純粹하게 研究에 使用되는 동안에는 그것은 資料의 統計的 分析의 試圖에는 無意味한 것이다.

샘플의 크기가 稼動샘플링 適用에서는 항상 相對的으로 크다는 것은 旣知의 것이지만, 正規分布에 따르는 다음의 近似値는 π의 샘플 推定値의 精度를 記述한 것을 使用한다.

$$P_r\{\text{絶對誤差} = |P-\pi| < K_{\alpha/2}\,\delta\} \cong (1-\alpha) \quad \cdots\cdots (5)$$

여기에서 $K_{\alpha/2}$는 標準正規偏差이며, δ는 s의 近似値이다. 이제 確率 α를 許容하는 絶對誤差의 매우 큰 값을 R_π라고 하면 R_π는 $K_{\alpha/2}\,\delta$와 같다고 할 수 있고, 샘플의 크기는 다음의 公式에서 求할 수 있다.

$$n = \left(\frac{K_{\alpha/2}}{R}\right)^2 \left(\frac{1-\pi}{\pi}\right) \quad \cdots\cdots (6)$$

公式 (6)에서 주어진 값은 다음과 같이 決定한다.

첫째, 一般的으로 π값을 각각 갖는 수많은 活動範圍에 關係하고 있다. π값이 減少하면 n값은 增加하기 때문에 아주 작은 π값에서 n을 選定한다.

둘째, α와 R을 選定하는 客觀的 根據는 항상 不足하다.

2·2 費用考慮

母數 α와 R값의 選擇은 稼動샘플링研究의 總期待費用을 最少化하는 샘플크기 n의 選定에 의해 避할 수 있다. 例를 들어, 總研究費用은 샘플링費用의 合 nC_v (여기서는 C_v는 單位當 샘플링費用을 意味한다)와 誤差의 推定値에 關聯되는 費用 $e=(P-\pi)$의 合計로 假定하자.

이 評價에서 困難한 部分은 誤差推定値의 크기 e에 關聯된 費用 또는 損失로 나타나는 函數의 近似値이다. 모든 條件下에서 우리는 $A+B(e)+C(e^2)$의 2次函數로 接近할 수 있다. 常數項 A는 誤差가 0일 때 損失이 없다고 주어지면 0으로 한다. $B=0$인 特殊한 경우를 假定하면 $C(e^2)$의 期待値는 단지 $C\delta^2 = C\pi(1-\pi)/n$이므로 費用의 最少化는 簡單하다.

따라서,

總期待費用 $= nC_v + C\pi(1-\pi)/n$

그리고 最適샘플의 크기 n_{op}는 公式 (7)에서 주어

진 總期待費用을 最少化한다.

$$n_{op}=\sqrt{\frac{C}{C_v}}\ \sqrt{\pi(1-P)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

(여기에서 C는 損失函數(C_e^2)에서 1%誤差의 推定量 P를 使用하는 費用의 10,000倍, 또는 2% 誤差의 境遇는 2,500倍로 한다)

公式 (6)과 (7)을 比較하면 $(K_{\alpha/2}/R)^2$은 費用$\sqrt{\frac{C}{C_v}}$로 代置됨을 알 수 있다.

損失函數 C(e^2)에서 이러한 特殊한 境遇의 關係 때문에 $(K_{\alpha/2}/R)$의 比率에서 相對誤差는 (C/C_v)에서 같은 相對誤差로서 샘플크기 n 推定値의 4倍 效果의 結果가 된다. 그러므로 R와 α에 根據한 節次를 選擇하여 費用을 使用하는 것이 더 效果的이라고 할 수 있다.

어떠한 狀況도 費用思考가 明白히 選擇되어지면 規定할 수 있으나, 많은 餘他의 統計的 方法뿐만 아니라 稼動샘플링에 費用思考가 廣範圍하게 採擇되기 前에 이러한 一般的인 問題를 提起할 수 있도록 더 많은 硏究가 要求된다.

2·3 時間週期予測과 統計的 推定

前節의 公式에서 π와 P는 母數로서, 이들의 推定量은 時間週期 〔O, T〕에 適用된다. 즉, 時間週期 〔O, T〕에서만 工程條件이 推定되어진다.

이제 稼動샘플링法의 適用이 必要하다고 假定하자. 例를 들어 本 稼動샘플링法 硏究가 주어진 工程에서 다른 工程의 參照없이 作業하는 作業者의 活動에서 作業者의 負荷를 如何히 配置할 것인가를 決定하게 된다고 하자. 實際로 이것은 稼動샘플링法의 特殊한 適用인 것이다.

一般的으로 作業者는 時間 T 以後 앞으로 豫測되는 工程條件에서 週期 〔O, T〕 동안의 稼動샘플링 觀測으로부터 求해지는 情報를 使用하게 된다.

豫測된 狀況에서 公式 (5)의 誤用은 샘플推定値 P의 實際精度를 크게 과장하게 된다.

稼動샘플링法 硏究에서 指定할 수는 있으나, 反復되는 週間 동안의 特定한 週期인 作業週間의 作業에서는 永久的인 差異이다.

이러한 理由는 稼動샘플링法 硏究가 빈번히 累積作業週間을 包含하기 때문이다.

萬一 作業者가 週間에서의 變動이 獨立確率變數라고 假定할 수 있다면 本 稼動샘플링法 硏究는 有效한 信賴限界가 다음에 豫測되는 信賴限界보다 많은 週間을 包含할 수 있다.

連續되는 週間 ω의 期間에 걸쳐 硏究한다고 假定하자. 實際로 作業者는 이러한 週間이 그가 結果를 願하는 것에 대한 未來週間의 母集團을 假定하는 것으로부터 無作爲샘플이라고 假定한다.

P_i = $_i$th 週間 동안 工程時間의 活動推定値라고 하면,

$$(i=1, 2, \cdots\cdots \omega)$$

$$P=\sum_{i=1}^{\omega} P_i/\omega$$

= 豫測되는 工程에서의 推定量 π의 總平均 ……(8)

$$s_p^2=\sum_{i=1}^{\omega}(P_i-\bar{P})^2/(\omega-1)$$

= 週間推定値의 標本分散 ……(9)

P_i의 分布는 正規分布에 近似하기 때문에

$$P_r\{\bar{P}-t_{\alpha/2}\,s_p/\sqrt{\omega}\leqq\bar{\pi}\leqq\bar{P}+t_{\alpha/2}\,s_p/\sqrt{\omega}\}$$

$$=1-\alpha \quad \cdots\cdots (10)$$

公式 (10)은 $t_{\alpha/2}$가 確率 $\alpha/2$를 超過하는 自由度 $(\omega-1)$인 變數 t에서의 $(1-\alpha)$ 水準 信賴區間이다.

이 節次는 어느 샘플링節次(集團샘플링, 層別샘플링, 多段階샘플링, 體系的 時間샘플링과 無作爲時間샘플링)에서 뿐만 아니라 單純無作爲샘플링이 使用될 때 適用되어질 수 있다.

또한 作業者는 어느 週間과 같은 曜日에 풀링(pooling)함으로써 自由度를 增加할 수 있다.

例를 들어 세 週間에 걸친 硏究에서 總自由度가 10으로 주어지면 셋의 月曜日에 自由度 2, 셋의 火曜日에 自由度 2 등과 같이하여 s_p를 計算할 수가 있다.

3. 標準時間推定

標準時間推定은 相對的으로 긴 作業週期에 대한 標準遂行時間을 決定하기 위한 稼動샘플링法의 適用에 관한 것이다.

William (1957)은 作業要素는 1秒 또는 그 以上 持續되어야 한다고 했다. 이것은 모든 適用에서 比較的 作業要素가 길어야 할 것을 意味한다.

3·1 가동샘플링法의 利用

標準遂行時間의 推定에 稼動샘플링法이 어떻게 利用되어지는지를 說明하기 위해, 連續되는 作業遂行에 作業要素 u_i가 存在하는 活動週期를 考慮한다. 各各의 作業要素 u_i는 生産活動의 分離된 範圍로서, 모든 遲延의 形態를 包含하는 非生産活動 v_j와 함께 考慮되어진다.

稼動샘플링法 硏究는 總作業週期 동안의 作業週期

〔O, T〕를 包含한다고 假定하고, 生産製品의 數는 旣知로 M이라 하자. 各各의 觀測에서 屬性資料는 (u + v) 活動範圍가 表記된 樣式이 取해진 곳에서 求해지며, 作業者의 作業速度 推定値인 觀測된 無作爲發生 f가 求해진다.

速度係數는 稼動샘플링法의 觀測에서 定해진 것보다 더 熟練된 다른 觀測者에 의해 實驗的으로 求해진다.

勿論 速度係數는 正常速度로 一貫性있게 作業하는 作業者를 基本으로 하여 定해진다.

여기서, 速度係數의 平均을 F로 하고, 提起된 作業要素時間의 發生作業샘플 推定値를 P라고 하면, 正規基本遂行時間의 推定値는 公式 (11)로 주어진다.

F = 1에서 速度係數가 正規速度作業研究에 의해 代置된다고 하면,

$$t = F(T/M)P \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

이다.

t의 分散推定値는 그것이 推定에 使用됨에 따라 샘플크기와 信賴區間(Moder, 1965)을 必要로 한다.

이 研究는 提起된 作業要素의 時間發生 π와 샘플크기 n의 積($n\pi$)을 나타내며 90% 信賴度로 10%의 相對精度에 이르기 위해서 약 300程度이어야한다.

그러므로 作業要素가 짧으면, 즉 π가 적으면 매우 큰 샘플이 必要하다. 例를 들어 $\pi = 0.03$ (3%)이면 n은 10.000이 必要하다.

3·2 屬性変数가동샘플링法

提起된 作業要素는 持續期間에서 π가 적을 때에는 반드시 相對的으로 짧아야 한다.

이 경우에서 記述된 精度에 이르기 위해서 샘플의 크기를 減할 必要가 있으며, 짧은 作業要素가 觀測될 때는 더 많은 情報를 蒐集할 것이 提案된다.

이 方法은 作業者가 길고 짧게 分類된 作業要素의 作業週期를 充分히 알고, 優先的으로 稼動샘플링法 研究를 施行할 것을 假想한다.

提案된 샘플링 計劃은 工程이 作業時間의 無作爲點에서 觀測된다고 假定한다.

긴 作業要素가 觀測될 때, 觀測者는 단지 屬性資料를 記錄한다.

그러나, 짧은 活動이 觀測될 때는 觀測者는 事實과 함께 特別히 짧은 觀測된 活動(變數)이 終了될 時間까지 記錄해야 한다.

이 測定은 屬性觀測이 即時 提示되는 時間 研究의 始作에서 作成될 수 있다.

萬一 作業要素觀測이 긴 作業要素라고 한다면, 그 觀測은 不問에 붙인다. 萬一 作業要素觀測이 짧은 作業要素라고 한다면 觀測者는 要素作業의 完全한變數測定을 求할 때까지 作業場面에 남아야 한다. 後者는 超過壽命이라고도 한다.

Parzen(1962)은 이 方法은 짧은 要素作業의 完了동안 觀測者의 繼續存在는 作業者의 作業遂行에 影響을 주지 않는다고 假定한다고 했다.

萬一 길거나 짧은 作業要素의 持續時間이 各各 獨立的이고 同一하게 確率變數에 分布된다고 假定하면, 超過壽命 x의 期待値는 公式 (12)에서 求해진다.

$$E(x) = \frac{\tau}{2}[1 + C_t^2] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

여기에서 τ는 作業要素의 持續期間의 實際値이며 C_t는 個別要素作業遂行時間의 變動係數(平均／標準偏差)이다.

萬一 C_t^2을 無視해도 된다면 公式 (12)는 觀測된 平均超過壽命의 2倍로서 τ의 推定値를 明白히 示唆한다. 稼動샘플링法 研究에서 事實上 C_t^2은 매우 작은 값이다.

例를 들어 $0.15^2 = 0.0225$로 $2/(1 + C_t^2) = 1.94$이며 1.94의 τ의 推定値 $\bar{x}$가 算出된다.

이 方法의 發展은 다음의 方法이다.

이 方法은 存在壽命觀測의 使用으로 屬性資料만이 使用될 때 必要한 샘플의 30%만 取할 수가 있다.

4. 結 論

稼動샘플링法에 대해 本 研究에서 提示된 研究는 앞으로 더욱 效果的으로 使用될 것이 思料된다. 이것은 컴퓨터의 活用에 따라 效用이 더욱 加速될 것이다. 部分的으로 入力된 情報에 따라 두 段階計劃은 먼저 研究되는 作業者를 나타내게 되는 資料蒐集樣式을 準備하고 體系的 또는 無作爲로 作業者를 觀測한다.

資料가 蒐集된 後, 計劃의 다음 段階는 資料의 分析을 遂行한다. 入力－出力이 可能한 ON-LINE 作動의 컴퓨터活用으로, 그것은 一般的으로 스톱·워치에 의한 시간연구와 標準資料시스템의 入力뿐만 아니라 本 研究에서 記述한 여러 形態의 日別 入力에 의해 끊임없이 새로운 標準時間資料의 貯藏이 可能하다.

이와같은 有用한 資料의 貯藏으로, 作業週期 時間을 最少化하는 工程의 施行錯誤에 따라 變更되어지는 採擇된 作業場 Lay-out와 工程節次의 投入을 容易하게 할 수 있다.

實際로 이것은 稼動샘플링法에서 行해지는 範圍에서 가장 重要한 作業으로 取扱되며, 作業測定의 應用이다.

References

1) Chisman, James A., "Using linear Programming to Determine Time Standards," *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. XVII, No.4, April, 1966.

2) Moder, J. J., "New Developments in Activity Sampling and Work Measurement," *Proceedings of AIIE Region IV Conference*, November, 1965.

3) Moder, J. J. and Halladay, W. J., "Work Sampling Applied to Long - Cycle Operations Performed by a Variable Labor Force," *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. VII, No.4, July - August, 1956, pp. 164 ~ 167.

4) Mindlin, A., "The Application of Sampling Survey Methodology to Work Sampling," *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. X, No.4, July - August, 1959, pp. 286 ~ 295.

5) Raphael R. Thelwell, "An Evaluation of Linear Programming and Multiple Regression for Estimating Manpower Requirements," *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. XVIII, No.3, March, 1967, pp. 227 ~ 236.

6) Salem, M. D., "Multiple Linear Regression Analysis for Work Measurement of Indirect Labor," *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. XVIII, No.5, May, 1967, pp. 314 ~ 319.

7) Cochran, W. G., *Sampling Technique*, John Wiley and Sons, New York, 1977. pp. 72 ~ 86.

8) Hines, W. W. and Moder, J. J., "Recent Advances in Systematic Activity Sampling," *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. XVI, No.5, September - Octorber, 1965.

9) Barnes, Ralph M., *Motion and Time Study*, 7 th ed., New York : John Wiley & Sons, Inc., 1980.

10) Mundel, Marvin E., *Motion and Time Study*, 5 th ed., Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice - Hall, Inc., 1978.

11) Niebel, Benjamin W., *Motion and Time Study*, 6 th ed., Homewood, Illinois : Richard D. Irwin, Inc., 1976.