워크 샘플링 觀測時刻 決定方法에 關한 研究

A Study on the Methods for Determining Observation Times of Work Sampling

高 龍 海 *
김 경 호 **

Abstract

This thesis is a study on the work sampling method which is one of the important parts in the fields of work measurement today.

The primary objective of this study is to examine various methods of selecting observation times in work sampling studies, including simple random, systematic, and stratified sampling and a new method called restricted random sampling.

The attribute of these sampling methods are explained, particulary statistical efficiency, and the important advantages of stratification are analyzed.

A case study of work sampling was made in a manufacturing plant to show its practical application and the effectiveness of the stratified random sampling technique.

1. 序 論

作業測定은 製品과 서어비스를 生産하는 워크 시스템을 科學的으로 計劃管理하기 爲해 그 活動에 所要되는 時間과 資源을 測定하는 것으로, 企業生産活動에서의 標準生産量의 設定, 經濟的인 作業方法의 選擇, 作業者와 設備配置의 決定, 生産設備 등의 經濟的인 設計, 合理的인 作業 分担, 企業經營 管理를 위한 基礎 資料의 作成, 生産性의 測定 등의 目的을 達成하기 위해 使用된다.

워크 샘플링이란 사람이 하고 있는 作業의 種類, 機械의 稼動狀態 등을 瞬間的으로 觀測하고 이러한 觀測을 되풀이 하여 各 觀測項目의 時間構成이나 그 推移狀況 등을 統計的으로 推測하는 方法이다.[1]

本 研究의 目的은 워크 샘플링의 觀測時刻 決定에 사용되는 方法으로서 종래의 單純 랜덤 샘플링 (SRS; Simple Random Sampling) 등에 대한 결함을 補完할 수 있는 層別 랜덤 샘플링(StRS; Stratified Random Sampling), 制約條件下의 랜덤 샘플링(RRS; Restricted Random Sampling), 系統 랜덤 샘플링 (SyRS; Systematic Ramdom Sampling) 등의 觀測時刻 決定 方法을 考察하므로 워크 샘플링의 能率向上을 도모하려는데 있다.

따라서 觀測時刻의 決定方法과 그 중에서 時間을 層別하므로서 더욱 편리한 解決策을 찾을 수 있는 方法을 考察하고자 한다.

2. 워크 샘플링의 理論

2－1. 워크 샘플링의 意義

物理學이 物質의 測定科學으로 發展해 온 것과 같이 作業測定도 作業 및 管理에 관한 測定科學으로 發展해 왔으며, 作業者가 행하는 제반 活動을 媒體로 하여 測定하는 것으로서 作業 및 管理의 科學化에 必要한 諸情報를 獲得할 수 있다.[2]

워크 샘플링法은 時間研究法, PTS法, 實績記錄法 등과 함께 作業 測定의 한 方法이다. 워크 샘플링법

* 明知專門大學 工業經營科 助教授
** 린나이 주식회사 연구소.

1) 千住鎭雄, "作業研究", 日本規格協會, 1980, p. 117.

2) 李舜堯, "作業管理", 博英社, 1980, p. 207.

은 統計的인 샘플링方法을 利用하여 作業者의 活動, 機械의 活動, 製品 材料의 時間的 推移등의 狀況을 統計的 • 計數的으로 把握하기 위하여 常用되는 方法으로 二項分布에 따르는 確率法則에 基礎를 두는 方法이다.[3)]

워크 샘플링法은 1935年 L.H. C.Tippett에 의해 Snap Reading Method로 發表되었으며, 1940年代 初期에 美國에서 導入되어 Ratio Delay Method로 發表된 以來, 設備効用 比率 決定, 作業者의 稼動時間 比率 推定, 作業標準의 確立, 기타 事像發生 比率의 決定 등 수많은 問題들에 適用되어져 産業生産, 事務作業등 여러 分野에서의 管理機能에 매우 多樣하게 適用되어 졌고, 그 範圍가 넓다는 것을 認識한 팩터리誌의 編輯者가 워크 샘플링이라는 새로운 이름을 붙였으며, 그 이후 워크 샘플링으로 通稱하게 되었다.

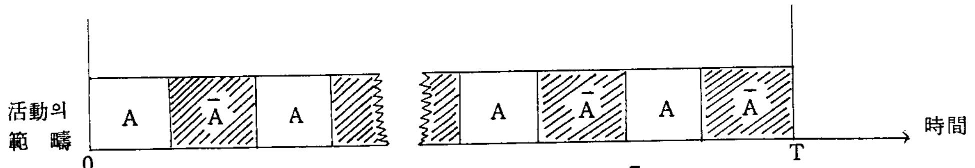
이상과 같이 워크 샘플링법은 다른 測定法과 같이 瞬間的으로 質的 測定을 한다는 特徵이 있으며 다른 각도에서 워크 샘플링법의 利點을 要約하면 다음과 같다.[4)]

첫째로, 한 사람이 여러명의 作業者를 對象으로 觀測할 수 있다. 둘째로, 對象者가 意識的으로 行動하는 일이 적으므로 測定値의 信賴度가 높다. 세째로, 여러 種類의 作業에 適用된다. 네째로, 觀測에 訓練을 거의 必要로 하지 않는다. 다섯째, 랜덤한 觀測을 實施하게 되면 觀測誤差는 觀測回數에 의해 算出되므로 觀測結果의 精度가 保證된다.

2－2. 從來의 硏究

2－2－1. 워크 샘플링의 原理

時間間隔이〔O, T〕인 어떤 作業이 서로 對立되는 A와 $\bar{A}$로〔圖2－1〕과 같이 構成된다고 假定하자.



〔図2－1〕時間〔0, T〕사이에서의 A와 $\bar{A}$의 構成度

이때 파라미터 π에 대하여 랜덤 觀測 時刻에 따라 觀測하므로서 추정치 P를 얻을 수 있다.

즉,

$$\pi = \frac{\text{A狀態에 있는 工程의 總時間}}{\text{總 時 間(T)}}$$

$$P = \frac{\text{活動 A가 나타난 觀測回數}}{\text{總 觀 測 回 數}}$$

$$= \frac{n_A}{n_A + n_{\bar{A}}}$$

$$= \frac{n_A}{n} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-1)$$

이 된다.[5)]

① 信賴限界

워크 샘플링법에 의해 觀測된 平均稼動率의 偏差의 測定은 正規分布의 標準偏差의 決定方法에 따른다.

여기서

n ; 샘플의 크기, 觀測數

x ; n回의 觀測中 觀測事象이 나타난 回數

P ; 母集團에 있어서의 對象의 比率

로 할때 샘플에 있어서의 觀測比率 $P = x/n$(샘플에서 얻어지는 稼動率) 라고 하면

$$\text{標準偏差}\ \sigma = \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$$

그러므로 n回의 觀測에 의해서 얻는 平均値의 信賴限界는

$$\mu \pm Z\sigma = P \pm Z\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$$

$$= P\left(1 \pm Z\sqrt{\frac{(1-P)}{nP}}\right) \cdots (2-2)$$

단, Z는 信賴係數

② 絶對誤差와 相對誤差

일반적으로 워크 샘플링법에서 구해지는 誤差는 算出된 資料의 마지막 使用에 따르게 된다. 예를 들면 적은 수의 觀測回數는 稼動狀況의 일반적 經路나 調査의 廣範한 分野에 關聯되도록 推定을 許用할 수 있으며 많은 수의 觀測回數는 標準時間을 設定하기 위해 使用될 수도 있다.

3) R. M. Barnes, "Motion and Time Study Design and Measurement of work (7th ed.)", John Wiley & Sons. Inc., 1980, p. 406.

4) B. W. Niebel, "Motion and Time Study (7th ed.)", Richard D. Irwin Inc., 1976, p. 511.

5) Joseph J. Moder, "Activity Sampling with Applications to Time Standard Estimation", The Journal of Industrial Engineering, January, 1967. Volume X VIII. No. 1, p. 25.

워크 샘플링에서 使用되는 誤差에는 絶對誤差와 相對誤差가 있다.[6]

가동율 p 의 절대오차 A_A 를

$$A_A = Z\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-3)$$

로 나타내면 式(2－2)은 式(2－4)로 된다.

$$\mu \pm Z\sigma = P \pm A_A \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-4)$$

즉 n回의 觀測에서 구한 稼動率 P는 참된값 P를 中心으로 해서 $\pm A_A$의 範圍內의 어딘가에 있다는 것을 意味한다.

또한 相對誤差는 誤差가 稼動率 P에 대해 어느 정도의 比率로 되어있는가를 밝히고 있는 것이므로 多樣한 稼動率에 대한 誤差를 比較할 경우에는 相對誤差를 흔히 利用한다. 상대오차 R_A 는

$$R_A = \frac{A_A}{P} = \frac{Z\sigma}{\mu}$$

$$= \frac{Z}{P}\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$$

$$= Z\sqrt{\frac{1-P}{nP}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-5)$$

로 定義되어 誤差는 다음과 같이 나타낸다.

$$R_A \cdot P = Z\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \cdots\cdots\cdots (2-6)$$

$$\mu \pm Z\sigma = P \pm R_A \cdot P$$

$$= P(1 \pm R_A) \cdots\cdots\cdots\cdots (2-7)$$

③ 觀測數 및 觀測結果의 精度를 구하는 方式

觀測數는 데이타의 使用目的에 따라서 다르다. 誤差를 고려하여 구할경우에는 다음의 식에 따른다. 다음 식은 또 觀測結果의 精度를 구하는 데도 利用할 수가 있다.[7]

여기에서 觀測回數 n은 式(2－3)와 (2－6)로 부터

絶對誤差 A_A에서 구할 경우

$$n_A = Z^2 \cdot \frac{P(1-P)}{A_A^2} \cdots\cdots\cdots\cdots (2-8)$$

相對誤差 R_A에서 구할 경우

$$n_R = Z^2 \cdot \frac{(1-P)}{p \cdot R_A^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-9)$$

여기에서

n ; 觀測數＝觀測對象數×觀測回數

p ; 觀測項目의 發生率의 豫測値(또는 A_A, R_A 를 計算할 경우에는 觀測値)

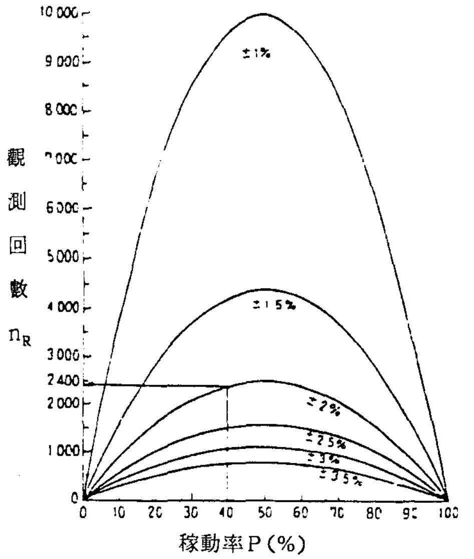
로 된다.

통상 워크 샘플링법에서의 A_A와 R_A의 값은 각각 2～3%, 5～10%이면 일반적인 경우에 있어서는 充分한 것으로 지적되고 있으나, 실제 요구되는 觀測數는 워크 샘플링의 목적에 따라 달라진다.[8]

〔圖2－2〕는 式(2－8)로부터 絶對誤差 A_A에서 워크 샘플링법의 觀測回數 n_A를 나타내는 圖表이며, 〔圖2－3〕은 式(2－9)으로 부터 相對誤差 R_A에서 워크 샘플링법의 觀測回數 n_R를 나타내는 圖表이다.

絶對誤差：A_A

$$n_A = \frac{1.96^2}{A_A^2} p(1-p)$$

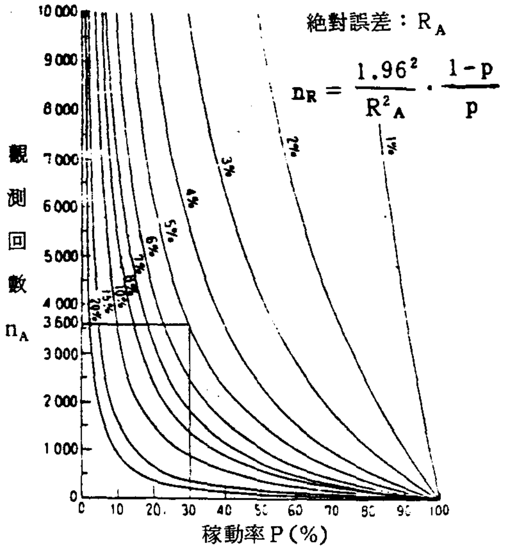


〔図2－2〕 絶対誤差에서 觀測回數 n_A를 決定하기 爲한 図表 (信頼度：95%)

6) 川島正治, "作業研究と作業管理", 安信印刷工業株式會社, 昭和20年, p. 209.

7) 李根熙, 前掲書, p. 268.

8) 千住鎭雄, 前掲書, pp. 130～131.



〔図 2 —3〕 **相対誤差 R_A에서 觀測回數 n_R을 決定하기 為한 図表** (信頼度 : 95 %)

2 — 3. 랜덤時刻의 決定方法

M. E. Mundel은 워크 샘플링에 있어서의 觀測時刻 決定方法에 대해 다음과 같은 3가지의 案을 提示하고 있다.[9]

〔方法 1〕

作業日의 최초의 1時間을 1이란 숫자로 놓고, 2번째 1時間을 2라 놓는 식으로 繼續하여 필요한 만큼의 숫자를 매겨둔다.

이때 一連의 3자리 形態의 숫자를 얻기 위하여 亂數表를 使用한다. 첫째 자리는 作業日의 時間을 나타내며 다음의 나머지 2자리는 分을 나타낸다.

作業日속에 없는 時間을 나타내는 숫자, 또는 있을 수 없는 分을 지칭하는 값은 버린다. 그리고 每日 每日의 랜덤 時刻 構成은 달라야 한다.

例를 들면, 하루 作業時間이 午前 8時부터 午後 5時라 하자. 午前 8시는 숫자 1로 表示되고 9時는 2 등으로 繼續해서 나아가면 午後 4時는 9가 될 것이다.

亂 數	랜 덤 時 刻
936	4 : 36 P. M
682	82 分은 없으므로 버린다.
720	2 : 20 P. M
020	0이란 時間은 없으므로 버린다.
413	11 : 13 A. M

9) Mundel, M. E., "Motion and Time Study ; Improving Productivity", Inc. 5th ed., 1978. pp. 104 ~ 105.

〔方法 2〕

두번째 方法은 時間으로 觀測을 層別하는 것이다. 이렇게 하기 위하여는 1日 수행해야 할 作業時間(分)을 觀測回數로 나눈다.

그런다음 各 時間別로 分을 나타내는 2자리의 숫자를 얻기 위하여 亂數表를 使用한다.

例를 들면 時間마다 한번의 觀測을 실시한다고 假定하자.

亂 數	랜 덤 時 刻
89	89 分은 없으므로 버린다.
76	76 分은 없으므로 버린다.
54	8 : 54 A. M
47	9 : 47 A. M
23	10 : 23 A. M
83	83 分은 없으므로 버린다.
80	80 分은 없으므로 버린다.

만일 時間當 2回 以上의 觀測이 必要하다면 各 時刻값은 실제적인 使用을 위해 再整理해야 한다.

그리고 每日 每日의 時刻값은 달라야 한다.

〔方法 3〕

觀測數가 상당히 커야 한다면 觀測者는 觀測되어야 할 對象地域을 항상 一定하게 觀測함이 없이 그의 經路를 임의로 探擇하면서 繼續觀測을 實施한다.

3. 워크 샘플링觀測時刻 選択에 관한 考察

3 — 1. 單純랜덤샘플링의 問題点

(2—3)에서의 〔方法 1〕은 單純랜덤샘플링에 대하여 논하였는데 이 방법은 수행시 불편하고 非效率的임을 여기에서는 提示하기 위한 것이다.

워크 샘플링에 의한 觀測은 많은 作業者를 觀測할 수 있도록 巡廻[10] 形式을 취하며 1時間 내지 그 以上의 時間이 觀測을 행하는데 必要하다.

이때 SRS는 各各의 時間(分)에서 샘플時刻으로 택해질 똑같은 機會를 갖고 있으므로 데이타를 蒐集하는데 問題點을 갖고 있다. 즉 2回 또는 그 以上의 샘플을 취해야 할 時間帶가 觀測을 위해 巡廻하는데 요하는 時間보다 짧은 경우는 어떻게 하겠는가? 이 問題에 대해서는 第2의 샘플러의 도움을 받거나 첫번째 샘플링한 사람이 그의 첫 巡廻를 마친뒤곧바로 다시 시행하도록 한다고 주장할 수 있다. 동시에 3명의 샘플러가 必要할 때는 어떻게 하겠는가?하고

10) 워크 샘플링을 하는데 選擇된 機械나 作業者들을 1回 觀測하는데 소요되는 時間을 巡廻時間 (Round Time)이라 한다.

워크 샘플링에서 使用되는 誤差에는 絶對誤差와 相對誤差가 있다.[6]

가동율 p 의 절대오차 A_A 를

$$A_A = Z\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-3)$$

로 나타내면 式(2－2)은 式(2－4)로 된다.

$$\mu \pm Z\sigma = P \pm A_A \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-4)$$

즉 n回의 觀測에서 구한 稼動率 P는 참된값 P를 中心으로 해서 $\pm A_A$의 範圍內의 어던가에 있다는 것을 意味한다.

또한 相對誤差는 誤差가 稼動率 P에 대해 어느정도의 比率로 되어있는가를 밝히고 있는 것이므로 多樣한 稼動率에 대한 誤差를 比較할 경우에는 相對誤差를 흔히 利用한다. 상대오차 R_A 는

$$R_A = \frac{A_A}{P} = \frac{Z\sigma}{\mu}$$

$$= \frac{Z}{P}\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}$$

$$= Z\sqrt{\frac{1-P}{nP}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-5)$$

로 定義되어 誤差는 다음과 같이 나타낸다.

$$R_A \cdot P = Z\sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \quad \cdots\cdots\cdots (2-6)$$

$$\mu \pm Z\sigma = P \pm R_A \cdot P$$
$$= P(1 \pm R_A) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2-7)$$

③ 觀測數 및 觀測結果의 精度를 구하는 方式

觀測數는 데이타의 使用目的에 따라서 다르다. 誤差를 고려하여 구할경우에는 다음의 식에 따른다. 다음 식은 또 觀測結果의 精度를 구하는 데도 利用할 수가 있다.[7]

여기에서 觀測回數 n은 式(2－3)와 (2－6)로부터

絶對誤差 A_A에서 구할 경우

$$n_A = Z^2 \cdot \frac{P(1-P)}{A_A^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2-8)$$

相對誤差 R_A에서 구할 경우

$$n_R = Z^2 \cdot \frac{(1-P)}{p \cdot R_A^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2-9)$$

여기에서

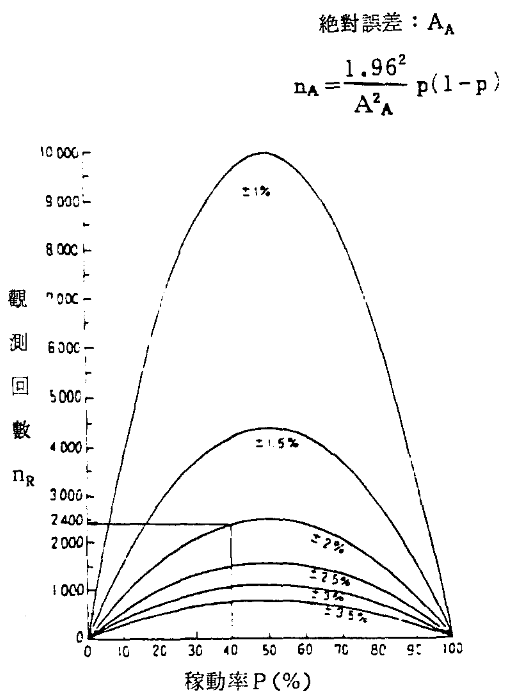
n ; 觀測數＝觀測對象數×觀測回數

p ; 觀測項目의 發生率의 豫測値(또는 A_A, R_A 를 計算할 경우에는 觀測値)

로 된다.

통상 워크 샘플링법에서의 A_A와 R_A의 값은 각각 2～3%, 5～10%이면 일반적인 경우에 있어서는 充分한 것으로 지적되고 있으나, 실제 요구되는 觀測數는 워크 샘플링의 목적에 따라 달라진다.[8]

〔圖2－2〕는 式(2－8)로부터 絶對誤差 A_A에서 워크 샘플링법의 觀測回數 n_A를 나타내는 圖表이며, 〔圖2－3〕은 式(2－9)으로 부터 相對誤差 R_A에서 워크 샘플링법의 觀測回數 n_R를 나타내는 圖表이다.

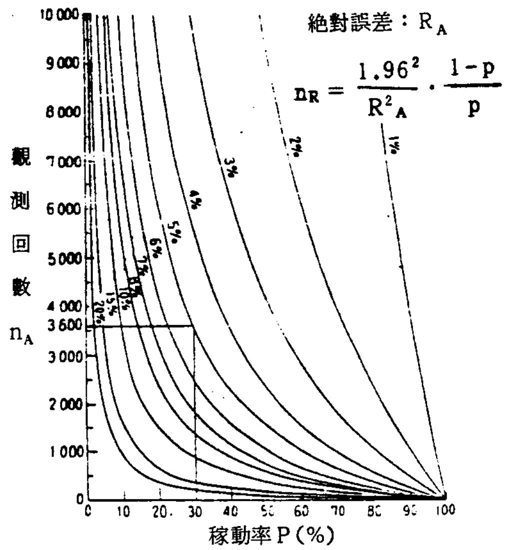


〔図2－2〕絶対誤差에서 觀測回数 n_A를 決定하기 為한 図表 (信頼度 : 95 %)

6) 川島正治, "作業研究と作業管理", 安信印刷工業株式會社, 昭和 20 年, p. 209.

7) 李根熙, 前揭書, p. 268.

8) 千住鎭雄, 前揭書, pp. 130～131.



〔図 2 －3〕 相対誤差 R_A에서 觀測回數 n_R을 決定하기 為한 図表 (信賴度 : 95 %)

2 － 3. 랜덤時刻의 決定方法

M. E. Mundel은 워크 샘플링에 있어서의 觀測時刻 決定方法에 대해 다음과 같은 3가지의 案을 提示하고 있다.[9]

〔方法 1〕

作業日의 최초의 1時間을 1이란 숫자로 놓고, 2번째 1時間을 2라 놓는 식으로 繼續하여 필요한 만큼의 숫자를 매겨둔다.

이때 一連의 3자리 形態의 숫자를 얻기 위하여 亂數表를 使用한다. 첫째 자리는 作業日의 時間을 나타내며 다음의 나머지 2자리는 分을 나타낸다.

作業日속에 없는 時間을 나타내는 숫자, 또는 있을 수 없는 分을 지칭하는 값은 버린다. 그리고 每日 每日의 랜덤 時刻 構成은 달라야 한다.

例를 들면, 하루 作業時間이 午前 8時부터 午後 5時라 하자. 午前 8시는 숫자 1로 表示되고 9時는 2 등으로 繼續해서 나아가면 午後 4時는 9가 될 것이다.

亂 數	랜 덤 時 刻
936	4 : 36 P. M
682	82分은 없으므로 버린다.
720	2 : 20 P. M
020	0이란 時間은 없으므로 버린다.
413	11 : 13 A. M

〔方法 2〕

두번째 方法은 時間으로 觀測을 層別하는 것이다. 이렇게 하기 위하여는 1日 수행해야 할 作業時間(分)을 觀測回數로 나눈다.

그런다음 各 時間別로 分을 나타내는 2자리의 숫자를 얻기 위하여 亂數表를 使用한다.

例를 들면 時間마다 한번의 觀測을 실시한다고 假定하자.

亂 數	랜 덤 時 刻
89	89分은 없으므로 버린다.
76	76分은 없으므로 버린다.
54	8 : 54 A. M
47	9 : 47 A. M
23	10 : 23 A. M
83	83分은 없으므로 버린다.
80	80分은 없으므로 버린다.

만일 時間當 2回 以上의 觀測이 必要하다면 各 時刻값은 실제적인 使用을 위해 再整理해야 한다.

그리고 每日 每日의 時刻값은 달라야 한다.

〔方法 3〕

觀測數가 상당히 커야 한다면 觀測者는 觀測되어야 할 對象地域을 항상 一定하게 觀測함이 없이 그의 經路를 임의로 採擇하면서 繼續觀測을 實施한다.

3. 워크 샘플링觀測時刻 選択에 관한 考察

3 － 1. 單純랜덤샘플링의 問題点

(2－3)에서의 〔方法 1〕은 單純랜덤샘플링에 대하여 논하였는데 이 방법은 수행시 불편하고 非効率的임을 여기에서는 提示하기 위한 것이다.

워크 샘플링에 의한 觀測은 많은 作業者를 觀測할 수 있도록 巡廻[10] 形式을 취하며 1時間 내지 그 以上의 時間이 觀測을 행하는데 必要하다.

이때 SRS는 各各의 時間(分)에서 샘플時刻으로 택해질 똑같은 機會를 갖고 있으므로 데이타를 蒐集하는데 問題點을 갖고 있다. 즉 2回 또는 그 以上의 샘플을 취해야 할 時間帶가 觀測을 위해 巡廻하는데 요하는 時間보다 짧은 경우는 어떻게 하겠는가? 이 問題에 대해서는 第2의 샘플러의 도움을 받거나 첫번째 샘플링한 사람이 그의 첫 巡廻를 마친뒤 곧바로 다시 시행하도록 한다고 주장할 수 있다. 동시에 3명의 샘플러가 必要할 때는 어떻게 하겠는가?하고

9) Mundel, M. E., "Motion and Time Study ; Improving Productivity", Inc. 5th ed., 1978. pp. 104 ~ 105.

10) 워크 샘플링을 하는데 選擇된 機械나 作業者들을 1回 觀測하는데 소요되는 時間을 巡廻時間 (Round Time)이라 한다.

반문할 수 있겠다. 이렇듯 SRS를 利用하여 워크 샘플링을 實施하는데는 불편한 점이 있다.

따라서 SRS에 있어서 時間의 層別과 다른 制約條件들을 추가하는 것이 그러한 問題을 더욱 便利하 解決策임을 다음에서 보여주고 있다.

3－2. 샘플링方法의 分析

앞에서 言及했던 SRS는 觀測을 實施하는데 困難한 경우가 發生할 수 있기 때문에 앞으로 설명될 다른 방법과 비교하기 위한 基準點으로만 使用 되어질 것이다.

(2－3) 에서의 〔方法2, 3〕은 둘다 앞으로 다루게 될 層別랜덤샘플링(StRS) 의 形態로 볼 수 있다.

먼저〔方法3〕을 보면 觀測者는 繼續하여 觀測을 행하고 每回 觀測을 위한 1巡廻에 하루 30分을 요하고 하루의 作業時間이 8時間이라고 假定할 때, 觀測을 위해 每日 16번을 出發할 수 있으며, 每回 觀測이 끝날때 30分이란 새로운 時間層이 랜덤하게 採擇된 經路를 따라 다시 수행 되어진다.

每 巡廻의 出發點은 觀測經路를 따라 作業者 또는 作業域을 랜덤하게 취함으로서 決定된다. 사실상 이것은 每 30分이란 時間層에 대해 각 作業者에 대한 觀測時刻을 選擇할 때 결국 SRS를 使用한 것과 마찬가지가 된다.[11]

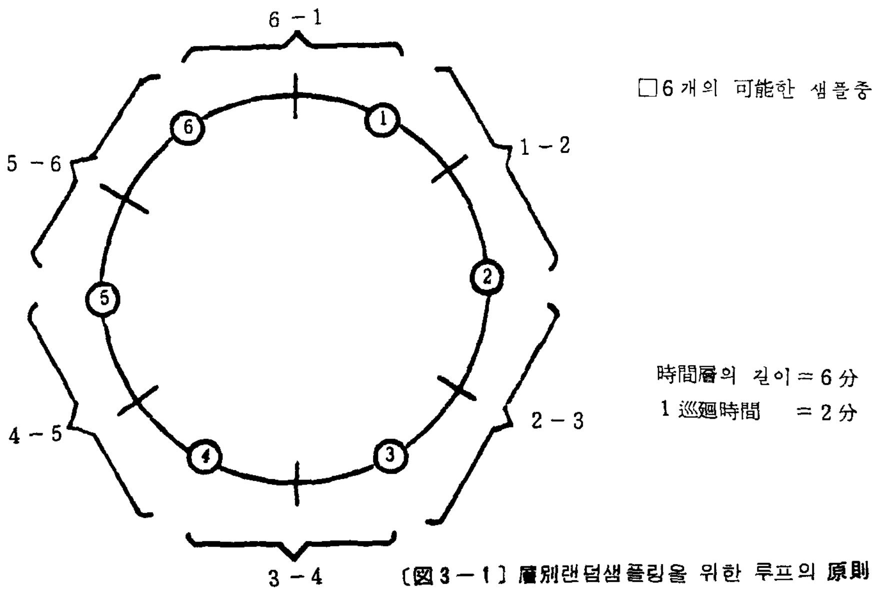
〔方法2〕도 역시 StRS의 한 形態로서 이때 두가지의 수정이 必要한데 그 중 하나는 그것이 갖고 있는 缺點을 바르게 잡기 위한 것이며, 다른 하나는 統計的인 效率을 증진 시키기 위한 것이다.

3－3. 루프의 原則[12]

어떤 作業을 워크 샘플링에 의해 觀測할 때 각 時間層은 6分 정도의 時間을 가지며, 한편 巡廻하여 觀測을 完全히 수행하는데 2分을 요한다고 가정하자. 이때 각 時間帶에서 觀測 可能한 샘플時間은 1～2, 2～3, 3～4, 4～5, 5～6分이 될것이다. 그러나 2, 3, 4, 5라는 時間(分)은 2개의 샘플 時刻에 나타남을 注目해야 한다. 이러한 샘플링의 치우침을 調整하기 위한 수정으로 위와같은 可能한 샘플時刻들의 目錄에 6～1을 추가한다.

이것이 意味하는 것은 다음과 같다. 즉 6分을 택하는 것은 巡廻時間을 두 부분으로 나누어 그 時間의 반은 샘플時間 6分에서 반은 1分에서 데이타를 蒐集하는 形式을 취해야 하는 것이다. 따라서 巡廻時間中 後半은 前半보다도 그 以前에 觀測되어 진다는 것을 뜻한다.[13]

이것은 層의 時間單位는 〔圖3－1〕에서 보여주는 것처럼 연속적인 루프形態로서 形成되어지고 있으며 이를 루프의 原則이라고 한다.



〔図3－1〕 層別랜덤샘플링을 위한 루프의 原則

11) Joseph J. Moder, "Selection of Work Sampling Observation Times; Part I－Stratified Sampling", AIIE Transactions, Vol. 12, No 1, 1980, p. 26.

12) Gavriel Salvendy, "Hand Book of Industrial Engineering", Purdue University, 1982, p. 466.

13) 하나의 時間帶(Time Stratum)가 20分으로 그 時間이 1：20分에서 1：40分이고 觀測對象인 作業者나 作業域을 한번 巡廻하는데 6分이 必要하다면 6分의 後半 3分은 1：20分부터 1：23分에서, 前半 3分은 1：37分부터 1：40分에서 觀測된다.

그러므로 〔方法 2〕의 統計的인 效率을 向上시키기 위한 2번째의 수정은 다음과 같은 再定立된 정의에서 주어지게 된다.

〔方法 2*〕

觀測回數를 時間으로서 層別한다. 즉 觀測을 위해 必要한 時間層을 얻기 위하여 作業日의 總時間을 하루에 必要한 觀測回數로 나눈다. 다음은 SRS를 使用하여 각 層에서의 하나의 觀測時刻을 택한다. 이때 條件付로써 루프의 原則을 遵守하여야 한다.

즉 時間層에서 늦게 始作하여 끝을 내지 못한 巡廻는 똑같은 時間層의 出發點에서 完全히 끝을 내야한다.[14]

3－4. 層別랜덤샘플링의 利点

앞에서 說明한 〔方法 2*〕와 〔方法 3〕은 둘다 StRS의 形態로서 이것들은 作成과 管理가 더욱 簡單하며 SRS보다 統計的으로 效率的임을 다음에서 보이고자 한다.

N ; 層의 數 또는 觀測回數

π_i ; 作業者가 觀測對象 項目에 대한 活動을 하고 있는 時間帶 i에 대한 파라미터

π ; $\sum_{i=1}^{N} \pi_i / N$, 觀測期間에 대한 파라미터(N ; 層의 수)[15]

x_i : 作業者가 觀測對象 項目에 대한 活動狀態에 있는지 ($x_i = 1$), 다른 活動狀態에 있는지 ($x_i = 0$)를 나타내는 層 i에 있어서 觀測에 對應하는 變數의 값, $i = 1, 2 \cdots\cdots N$

V(x) : 서로 獨立變數인 x_i에 대한 分散

이때

$$\pi_{StRS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} x_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3-1)$$

$$V(\pi_{StRS}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N} V(x_i)$$

$$= \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N} \pi_i(1-\pi_i) \quad \cdots\cdots (3-2)$$

$$V(\pi_{SRS}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N} V(x_i)$$

$$= \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N} \pi(1-\pi)$$

$$= \frac{\pi(1-\pi)}{N} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3-3)$$

$\pi_i = \pi + S_i$ 라 놓으면 $S_i = \pi_i - \pi$

이때 $E(S_i) = 0$, $E(S_i^2) = V(S)$이다.[16]

따라서

$$V(\pi_{StRS}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N} (\pi + S_i)(1-\pi-S_i)$$

$$= \frac{\pi(1-\pi)}{N} - \frac{V(S)}{N} \quad \cdots (3-4)$$

(3－4)式은 各 層 π_i의 값 사이의 分散을 測定한 V(S)와 N에 따라 π추정치에 대한 分散을 줄이는 데 있어서의 有效性을 나타낸다. 이것은 $V(\hat{\pi}_{StRS})$가 $V(\hat{\pi}_{SRS})$의 어떤 最大값에서 0에 해당하는 最小값 사이에 나타나는 5가지 가상적인 경우에 대한 層別의 效果를 보여준 〔表 3－1〕을 살펴보면 쉽게 이해가 될 것이다.

〔表 3－1〕 $\pi = 0.5$, $N = 4$인 5가지 가상적인 경우에 있어서의 $V(\hat{\pi}_{StRS})$에 대한 $V(S)$의 效果

i	CASE 1		CASE 2		CASE 3		CASE 4		CASE 5	
	π_i	S_i	π_i	S_i	π_i	S_i	π_i	S_i	π_i	S_i
1	0.5	0	0.5	0	0.2	－0.3	0	－0.5	1	0.5
2	0.5	0	0.25	－0.25	0.4	－0.1	0.75	0.25	0	－0.5
3	0.5	0	0.75	0.25	0.6	0.1	0.25	－0.25	0	－0.5
4	0.5	0	0.50	0	0.8	0.3	1.00	0.5	1	0.5
Average	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0
V(S)	0		0.3125		0.0500		0.1563		0.25	
$V(\pi_{SRS})$	0.0625		0.0625		0.0625		0.0625		0.0625	
$V(\pi_{StRS})$	0.0625		0.0547		0.0500		0.0234		0	
%Reduction	0%		12.5%		20.0%		62.5%		100%	
$V(\hat{\pi}_{StRS})$/ $V(\hat{\pi}_{StRS})$	1.00		0.88		0.80		0.37		0.00	

14) Gaveriel Salvendy, op. cit., p. 467.

15) 실제로 π는 보통 未知이므로, n 回의 觀測으로부터 計算된 추정치 p를 使用한다.

16) $V(S) = E(S_i^2) - E(S_i)$, $E(S_i) = 0$ 그러므로 $V(S) = E(S_i^2)$

〔表3－1〕의 5가지 경우중 case 2, 3, 4의 경우는 실제 作業者나 機械의 活動分布에서 흔히 볼 수 있는 경우이다.

3.－5. 觀測回數의 決定方法

〔表3－1〕에서 $V(\pi_{StRS})/V(\pi_{SRS})$란 相對効率을 나타낸다. 즉 比率 0.5는 크기 N인 StRS 와 크기 2N인 SRS가 동일하다는 것을 意味한다.[17]

예를 들면 SRS에 의한 觀測數 N＝1,000일 경우 StRS에 의하면 N＝500으로 하여도 똑같은 効果를 얻는다는 것이다.

따라서 StRS에 의한 觀測回數 決定方式에 대한 關係式은 다음과 같다.

N：觀測回數

π：母平均(μ)

V(S)：誤差分散

S：相對精度

이때 N回의 觀測에 의해서 얻은 平均値의 信賴限界는

$$\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)-V(S)}{N}} \quad : 母標準偏差(\sigma)$$

$$\mu \pm z\sigma = \pi \pm z \quad \frac{\pi(1-\pi)-V(S)}{N} \cdots (3-5)$$

$$S = \frac{z\sqrt{V(\pi_{StRS})}}{\mu} = \frac{z}{\pi}\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)-V(S)}{N}} \cdots\cdots (3-6)$$

$$N = \frac{Z^2[\pi(1-\pi)-V(S)]}{S^2\pi^2} \cdots\cdots (3-7)$$

한편 層의 길이는 1時間 이하로 하는 것이 誤差分散을 줄이는데 상당히 効果的인 것으로 나타났으며 그 時間內에서 임의로 잡는다.[18]

3－6. 制約條件下의 랜덤 샘플링(RRS)

StRS의 方法은 層의 길이를 지나치게 繼續 연장할 수 없다는 缺點이 있다. 즉 그것은 너무나 오랜 샘플링 期間을 요하기 때문이다. 따라서 루프의 原則 때문에 時間을 層으로 분할하거나 랜덤한 經路를 使用할 수 없을 때는 StRS의 定義를 어기게 된다.[19] 이러한 狀況에서의 유용한 샘플링方法이 制約條件下의 랜덤샘플링(RRS)方法이다. RRS方法에 대한 節次를 살펴보면 다음과 같다.

N：觀測回數

M：最小區間 $M<\frac{T}{N}$인 어떤 값

T：作業時間

平均(觀測時間의 길이)이 $\frac{T}{N}$인 일양분포로부터 랜덤샘플(X_i : $i=1, 2, 3, \cdots\cdots, N+1$)을 고려할 때 결과적으로 샘플 時間은 $t_1 = x_1$, $t_2 = x_1 + x_2$ …… 등으로 나타낼 수 있다.

만일 이러한 時間이 $t_N \leq T \leq t_{N+1}$까지 許容된다면 샘플 時刻의 同時密度函數는 連續的인 區間(O, T)에서 일양분포로 취한 SRS로부터 얻어진 순서통계량의 密度函數와 같다.[20]

이때 最小區間(M＝0)을 假定하지 않고, M＞0에 대해서만 RRS節次를 생각하면 랜덤 부분(x_j)의 기대값은 $E(x_j)=[(T/N)-M]$이 된다.

이때 時間 T내에서 正確하게 N개의 事象이 주어질 때 포아송과정에서 j번째 事象에 대한 待期時間 t_j의 누적분포함수는 다음과 같다.[21]

$$F_{[t_j|N(T)=N]}(x) = P[t_j \leq x \mid N(T)=N] = \sum_{\alpha=j}^{N} b(\alpha)$$

(단, $b(\alpha)$는 確率(x/T)로 크기 N의 샘플에 있어서 α 事象의 이항 確率)

위의 式에서 $j=1$이면

$$F_{[t_1|N(T)=N]}(x) = 1-(1-x/T)^N$$

이 된다.

이때 v를 구간 (0, 1)에서 均等하게 분포하는 랜덤 숫자로 表示하면

$$t_1 = T - T\exp[(\ln v)/N]$$

로 전환될 수 있다.

이것을 一般化시키면

$$F_{[t_j=t_{j-1}+X \; N(T-t_{j-1})=N-j+1]}(x) = 1-[1-x/(T-t_{j-1})]^{N-j+1}$$

이 되며 이 함수는

$$x = (T-t_{j-1})\{epx[(\ln v)/(N-j+1)]\}$$

로 變形시킬 수 있고 $t_j = t_{j-1} + x$ 이므로

17) Joseph J. Moder, op. cit., p. 26.

18) Joseph J. Moder, op. cit., p. 26.

19) 觀測對象이 되는 作業者나 作業域이 廣範圍한 경우.

20) Moder and H. D. Kahn, op. cit., p. 33.

21) Moder and H. D. Kahn, op. cit., pp. 33～34.

$t_j = T-(T-t_{j-1})\{1-\exp[(\ln v)/(N-j+1)]\}$

여기서

$j = 2, 3, \cdots\cdots, N$ …………… (3−8)

따라서 最小區間 M에서 〔1, T〕에 正確히 N觀測值의 랜덤샘플 時刻을 얻기 위해서 다음의 節次를 使用한다.

step. 1. $E_j = (T-NM)-(T-NM-E_{j-1})\{\exp[(\ln v)/(N-j+1)]\}$

$E_1 = 0$ 일때

$U_1 = 0$, $U_j = E_j + M(j-1)$; $j = 2, 3, \cdots\cdots, N$에 의해 $U_1, U_2\cdots\cdots, U_N$ 을 구한다.

step 2. 區間(O, T)에서 R이라 불리우는 Uniform Random Number를 구하고, $U_j^* = U_j + R$로서 範圍가 $(R \leqq U_j^* \leqq T-M+R)$로 정의되는 時刻을 구한다.

step 3. $U_j^{**} = [(U_j^* \text{ modulo}, T)+1]$로 한다. $(1 \leqq U_j^{**} \leqq T)$

step 4. 最小區間 M에서 $1 \leqq t_1 \leqq t_2 < \cdots\cdots < t_N \leqq T$에서 랜덤샘플 時刻을 얻기 위해 U_j^{**} 값(정수)을 구한다.

이상의 과정은 〔表3−2〕보면 쉽게 理解할 수 있을 것이다.

例 : M=10分, T=100分, Uniform Randon Number, R=76.58 (여기서는 의도적으로 넣음)이라 하면 다음 표와 같이 時刻을 구할 수 있다.

〔表3−2〕

j	v_j	$e^{(\ln v_j)/(N-j+1)}$	E_j	U_j	U_j^*	U_j^{**}	t_j
1	−	−	0	0	76.58 = R	77	1
2	0.45	0.77	13.80	23.80	100.38	1	33
3	0.27	0.52	35.98	55.98	132.56	33	47
4	0.83	0.83	40.06	70.06	146.64	47	77

3−7. 샘플링 節次의 比較

앞에서 다루었던 샘플링 節次에 계통랜덤 샘플링을 추가, 各 方法에 대하여 定義를 하고 狀況에 따른 샘플링 節次를 전개하겠다.

記號說明(단, 모든 變數는 정수값을 취한다고 假定한다.

T ; 하루의 作業時間 (分)

N_D ; 觀測中에 있는 作業日數

N_T ; 觀測中의 總巡回 觀測回數

N ; $\frac{N_T}{N_D}$ 로서 하루의 巡回 觀測回數

$\frac{T}{N}$; 巡回觀測 사이의 平均時間 (分)

M ; 1回의 觀測을 完了하는데 必要한 時間

단, StCRS 와 SyRS 에서는 $M=\frac{T}{N}$

StNCRS 와 RRS 에서는 $M<\frac{T}{N}$

〔方法 1〕

계통랜덤샘플링(SyRS) ; $\frac{T}{N}$(分)의 時間間隔에서 系統的으로 샘플링하는 方法으로 最初의 샘플링 間隔(1, 2, …, T/N)로부터 랜덤하게 選擇한다. 만약 最初의 巡廻가 時間R(1≦R≦T/N)에서 出發한다면 그날의 나머지 巡廻는 각기 (R+T/N), (R+2T/N), …… 〔R+(n−1) T/N〕 時間에서 出發한다.[22)]

그러나 觀測을 위한 最終巡廻의 出發이 그 巡廻를 完全히 끝내기에 充分한 時間的 여유를 갖지 못한다면 루프의 原則 〔圖3−1〕에 의거하여 巡廻의 適當한 部分을 그날의 처음 始作 部分에 놓아야 한다.

총관측시간(T=) 480

총관측횟수(N=) 16

SYSTEMATIC RANDOM SAMPLING

1	………	16
2	………	46
3	………	76
4	………	106
5	………	136
6	………	166
7	………	196
8	………	226
9	………	256
10	………	286
11	………	316
12	………	346
13	………	376
14	………	406
15	………	436
16	………	466

THE END OF JOB

22) Gaveriel Salvendy, op.cit., p. 467.

〔方法 2〕

制約條件下의 랜덤샘플링(RRS) ; 샘플 時刻이 만일에 M(分)보다 작다면 이미 採擇된 샘플時刻으로부터 제거되고 다른 時刻으로 대체될 것이라는 制約을 갖춘 時間 T(分)으로부터 크기가 N인 샘플을 취하는 方法으로 SyRS에서 適用되었던 루프의 原則이 그날의 最終 샘플에 適用된다. 그러나 다음의 StCRS에서 기술되어진 經路의 랜덤화는 여기서는 必要하지 않다.

총관측시간(T=) 100
총관측횟수(N=) 4
MINIMUM SPACING (M=) 10

RESTRICTED RANDOM SAMPLING

j	v_j	$e^{(\ln v_j)/(N-j+1)}$	E_j	U_j	U_j^*	U_j^{**}	t_j
1	–	–	0	0	69.18	69	19
2	.7313	.900946	5.94327	15.9433	85.1233	85	69
3	.8444	.918912	10.3266	30.3266.	99.5066	100	85
4	.812	.812	19.6652	49.6652	118.845	19	100

〔方法 3〕

層別連續랜덤샘플링(StCRS) ; M=T/N 이고, 作業者나 經路를 랜덤으로 採擇하는데 基準을 둔다는 條件下에서 連續的으로 觀測하는 것이다.

랜덤한 經路는 作業者(또는 作業場)에 대하여 루프 形態로 1부터 K까지의 숫자를 붙인 것으로 생각하고 (1, 2, ……, K)에서 觀測을 위한 巡廻의 出發點을 랜덤으로 택하는 것이다.

例를 들면 K=10이고 랜덤한 出發點이 5로 採擇되었다면 그 經路는 5, 6, 7. 8, 9, 10, 1, 2, 3, 4가 될 것이다.

총관측시간(T=) 480
총관측횟수(N=) 16

Stratified Continuous Random Sampling

작업장소(W=) 9

1	………	1
2	………	2
3	………	6
4	………	8
5	………	8
6	………	5
7	………	2
8	………	5
9	………	2
10	………	7
11	………	6
12	………	7
13	………	4
14	………	4
15	………	5
16	………	9

The end of Job

〔方法 4〕

層別非連續랜덤 샘플링(StNCRS) ; 觀測이 非連續的으로 즉 M<T/N인 경우에 대해 定義되어진다. 이것은 T/N(分)에 대한 各 時間層에서 취해진 1回巡廻 觀測을 위한 랜덤한 出發時間의 선정에 의하는 것으로 SyRS에서 서술된 루프의 原則이 各各의 時間層에 適用되어진다는 條件이 붙는다. 이때 必要하다면 觀測經路는 StCRS에서 기술한 것처럼 랜덤으로 정해진다.

총관측시간(T =) 480
총관측횟수(N =) 16

Stratified Noncontinuous Random Sampling

1	………	13
2	………	21
3	………	9
4	………	1
5	………	26
6	………	20
7	………	28
8	………	5
9	………	17
10	………	24
11	………	17
12	………	18
13	………	19
14	………	28
15	………	16
16	………	12

The end of Job

〔方法 5〕

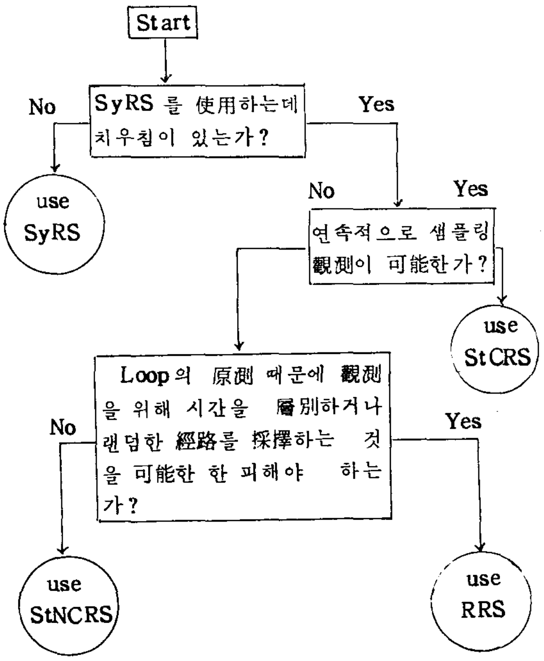
單純랜덤샘플링 ; 時間 T에서 비복원추출로 N개의 時刻을 採擇하는 것으로 各 時間이 샘플로 취해질 수 있는 確率이 同一하다. 만약 둘 이상의 샘플時間이 M(分)보다 近接해 있다면 觀測하는데 問題가 있음을 알 수 있다.

以上의 諸方法들을 고려할 때 SyRS는 ① 作業에 週期性이 없는 경우, ② 週期性이 있더라도 觀測間隔이 週期와는 무관한 경우로 치우침이 생기지 않는 경우에 使用한다.[23]

이것이 쉽지 않은 곳에서는 기타 節次中의 어느것이 採擇되는데, StCRS는 連續觀測과 랜덤한 經路를 택할 수 있을 때 薦擧될 수 있다. 非連續觀測이 사용되어져야만 할 때는 StNCRS와 RRS 중에서 選擇하여 使用한다.

이때 作業域이 상당히 廣範圍한 경우라면 랜덤한 經路를 使用하는 것은 바람직하지 않다. 그 理由는 루프의 原則을 適用시키기 위한 데드-헤드타임때문이다.[24]

이러한 각각의 경우에 대하여 意思決定을 위한 Decision Tree를 나타내면 〔圖 3-3〕과 같다.



〔図 3－3〕 워크 샘플링을 위한 **Decision Tree**

23) 李根熙, "作業管理의 理論과 實際", 創知社, 1983, p. 208.

24) StNCRS에서는 各 巡廻時間(M)에 랜덤으로 始作되는 지점에 도착할 때까지의 時間을 包含시켜야 하는데 이때는 실제로 觀測이 이루어지고 있지 않으므로 Dead-Head Time이라 한다.

4. 結 論

本 論文은 워크 샘플링에 의한 作業測定에 있어서 單純랜덤샘플링은 수행시 不便하고 非效率的임을 밝혔다. 그 理由로 SRS는 샘플時刻으로 택해질 똑같은 機會를 갖고 있는 觀測을 위한 1巡廻時間을 고려하여 觀測을 實施하는 데는 여러가지 問題點이 있기 때문이다.

따라서 이 硏究에서는 워크 샘플링의 觀測時刻을 選擇하는 데 있어서 時間의 層別과 다른 制約條件들을 추가하는 것이 보다 便利하고 效率的임을 보여주었고 이러한 一聯의 方法인 系統랜덤, 層別랜덤, 制約條件下의 랜덤샘플링법에 있어서 作業의 條件과 作業域의 위치에 따라서 各 方法에 대한 랜덤時刻을 選擇할 수 있는 디시죤트리(Decision Tree)를 나타냈으며 또한 實際 랜덤時刻을 Micro Computer에 의하여 決定하는 方法을 提示하였다.

위의 方法中 StRS에 의하여 랜덤時刻을 算出하고 實際 生産現場인 H社에서 適用해 본 結果 觀測첫날에는 層別 效果로서 % Reduction이 約 16.8%가 되었다. 이를 基礎로 하여 總觀測回數를 算出하였고 觀測結果 稼動率이 66.7%로서 比較的 낮은 生産活動이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

稼動率을 낮추는 몇가지의 要因을 살펴보면 다음과 같다.

① 作業이 不安定하며 特히 倉庫管理不實과 관리요원부족으로 素材(일감)나 必要한 工具를 갖고 오기 위해 作業者가 作業域을 떠나는 境遇가 많았다.

② 作業이 標準化되어 있지 않고, 理論的인 뒷받침이 없는 技能工이 많으므로 인해 工程에 有機的인 連結體系가 이루어지지 않았다.

③ 工程間의 區別이 거의 없어 隣接한 作業者들끼리의 雜談이 많았다.

따라서 素材라든가 加工物의 運搬手段을 새로이 강구하고, 工程을 有機的인 體系로 함은 물론 作業에 영향을 미치는 工具 및 設備를 再配置함으로써 遊休項目의 比率을 감소시킬 수 있을 것이다.

끝으로 本 硏究에서 다루었던 샘플링技法들을 導入 活用함으로써 製造現場에 있어서 生産能率向上과 設備의 效率的인 利用을 위한 워크 샘플링을 實施하는데 조금이나마 보탬이 되기를 바란다.

參 考 文 獻

1. 韓國工業標準協會譯, "作業硏究", 韓國工業標準協會, 1982.

2. 李根熙, "作業管理", 創知社, 1980.

3. _____, "作業管理의 理論과 實際", 創知社, 1983.

4. 李舜堯, "作業管理", 博英社, 1980.

5. 千住鎭雄, "作業研究", 日本規格協會, 1980.

6. 川島正治, "作業研究と作業管理", 安信印刷工業株式會社, 昭和 20 年.

7. Benjanin W. Niebel, "Motion and Time Study", 7thed., Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, 1982.

8. Marvin E. Mundel, "Motion and Time Study ; Improving Productivity", Prentice-Hall, Inc., 5th ed., 1978.

9. Brown M. H. Solomon and M. A. Stephens, "Estimation of Parameters of Zero-one Process by Interval Sampling Operations Research, May-June 1976.

10. Ralph M. Barnes, "Motion and Time Study", 7th ed., John Willey & Sons, Inc., New York, 1980.

11. Joseph J. Moder, "Activity Sampling with Application to Time standard Estimation", The Journal of Industrial Engineering, Vol. XVIII. No. 1, January 1967.

12. Ronald J. Kinack, "Work Sampling Tables", Industrial Engineering, Vol. 7. No. 3, March 1975.