

循環서비스 시스템에서의 機械作業效率

The Machine Efficiency on the Cyclic Service System

劉 征 相 *

Abstract

Arguments in favor of cyclic servicing, as opposed to random servicing, in connection with machines which stop in a random manner, are not conclusive because hitherto no general formular has been available for calculating the results which may be expected from cyclic servicing.

The aim of the following paper is to help in evaluating the cyclic procedure by presenting a formular for calculating the standard efficiency of a group of semi-automatic machines assigned to one operator who will service them on a cyclic pattern.

1. 序 論

1人的 作業자가 여러대의 半自動機械(semi-automatic machine)를 操作할 경우 標準平均生産性を 구하기 위해서는 우선 이 生産성에 영향을 주는 要因은 무엇이며, 이들 要因들 相互間에는 어떠한 關係를 가지고 있는 것인가를 먼저 考慮한 후에 適當 擔當機械台數나 生産성을 決定하여야 한다.

生産성은 決定에 作用하는 要因들로서는 作業內容, 機械速度, 作業者速度, 作業者휴휴, 機械停止頻度 등을 들 수 있다. 만약 이러한 要素들이 거의 一定하다고 假定하면 生産성은 機械의 서비스 過程 즉, 機械에 대한 作業者の 索取扱方法의 過程에 크게 좌우될 것이다.

機械操作 過程에는 랜덤 서비스(random service)와 循環 서비스(cycle service)의 두 가지로 나눌 수가 있겠다.[3]

1인이 여러대의 機械를 取扱할 때 循環 서비스를 하면 순서대로 作業을 하므로 機械를 하나도 빠뜨리지 아니하고 손作業을 할 수 있으나, 랜덤 서비스일 경우에는 빠뜨리고 넘어가는 것도 있을 것이다. 이 두가지 方法에서 실제 生産성의 차이는 어떠한가를 다루는 것도 중요한 과제이다. 두가지 方法에 관해

서는 本論에서 자세히 다루겠다.

生産성의 평가는 生産計劃, 賃金統制, 商品價格, 豫算策定 등의 要素들을 관리하는 데 아주 主要하다.

本 研究는 循環 서비스의 경우에 각 要素들의 상호관계와 最適機械할당수를 決定하는 것에 關하여 論한 것이다.

2. 本 論

2. 1. 機械의 특징

機械의 형태는 여러가지가 있는데, 사람의 손을 거의 빌지 않고 自動적으로 作動하는 機械가 오늘날에는 많이 있다.

여기서 논의되는 것은 서로 동종의 半自動機械가 비슷한 일을 할 때에 1인이 여러대의 機械를 할당하여 作業하는 경우이다.

1인의 作業자가 복수 機械를 맡아서 作業을 할 경우, 作業자가 機械에 索取扱作業—공구取扱, 材料삽입, 機械조정 등—을 행하고 있는 동안 그가 맡고 있는 다른 機械가 機械作業을 마치고 自動停止하여 作業자가 올 때까지 대기하는 현상이 발생한다. 이와같이 機械가 作業자를 기다리는 동안 일어나는

* 忠州工業專門大學 工經科 講師(漢陽大學校 産業工學科 博士課程)

機械停止時間을 機械干渉時間(machine interference time)이라고 한다. 이와 반대로 作業者가 한 대의 機械의 손取扱作業을 끝내고 다음 機械의 손取扱作業을 하기 전에 손뎌 상태에 있는 일도 발생할 수 있다. 이와같은 대기시간을 인간간섭時間(man interference time)이라고 한다. 따라서 설비 및 인간의 편성상 발생하는 대기時間을 간섭時間이라 한다.

일반적으로 이러한 간섭이 발생순서, 빈도, 시간 등이 안정되어 예측가능하면 정규作業으로서 標準作業方法을 편성할 수 있지만 간섭이 불안정하게 발생하고 그 예측이 곤란하게 되면 餘裕로서 取扱하지 않으면 안된다. 불안정하게 발생하는 간섭에 대해서는 이것을 餘裕(간섭餘裕)로 다루지만 그 설정을 쉽게 하기 위해서 간섭에 관한 연구가 최근에 많이 이뤄졌다. 대표적으로 Wright (1936), Achroft (1950), Sandberg (1956), andon (1956) 등의 사람이 선구자이다.[2]

이러한 연구는 간섭時間의 計算에서 1人的 作業者가 복수機械를 맡아 操作하는 作業이나 연합作業에 있어서 標準時間이나 標準生産량을 구하는 것만이 아니고, 특히 自動機械, 半自動機械에 대해서 機械費用(간섭비)과 노무비의 側面에서 가장 경제적인 操作 대수는 얼마인가를 연구 決定하는 것이 중요한 기능으로 되어 있다.

機械가 다른 특별한 要因에 영향을 받지 않고 단순한 손取扱作業—공구取扱, 材料삽입, 機械조정—등의 경우, 이러한 機械를 “완전한 自動化(ideal automatic)”라고 하고 規則的이면서도 어느정도 랜덤하게 停止하는 것을 “半自動化(semi-automatic)”라고 하여 편의상 분리하여 取扱한다.

2. 2 서비스 過程(servicing routine)

機械가 完全自動化 되어서 스케줄에 따라 規則的으로 작동하고 停止하는 경우에는 作業者도 規則的으로 機械에 대한 손作業을 알 수 있다.

循環 서비스(cyclic servicing) 作業이라는 것은 作業者가 먼저 No. 1의 機械를 作動시키고 나서 즉시 No. 2의 停止한 機械로 가서 作業을 한다. 다음에 No. 3의 機械로 가서 作業을 하여 최종 No. n의 機械까지 같은 일을 되풀이 한다. No. n의 機械에 손作業을 끝내고 나면 다시 원래의 No. 1의 機械로 돌아가서 機械에 손作業을 하는 방식을 말한다. 半自動機械에 있어서 機械가 랜덤하게 停止하는 경우에는 일반적으로 作業者는 1대의 機械의 손作業이 끝나고 나면 그 곳에서 가장 가까운 곳에 있는 停止한 機械로 이동하는 것이 보통이다. 이러한 過程을 랜덤서비스(random service)라고 한다. 그런데 이러

한 경우에 랜덤 서비스보다 더 좋은 効率的인 方法이 없다고 단정하기 힘들다. 그렇지만 단정적으로 어떠한 더 좋은 方法이 있다고 말하기도 현재까지는 어려운 상태이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 循環 서비스(cyclic service) 方法이 사용될 수 있는데 몇몇 사람들이 이에 관해 연구해 왔으나 그 理論的인 確實한 근거나 적용 사실이 미미한 것이 사실이다.[4]

2. 3 機械의 配置(Layout of machines)

機械가 모두 똑같은 형태이고 作業 또한 거의 동일한 경우에 機械의 配置에 관해 알아보자.

作業者 1人當 맡은 機械의 수가 많지 않고 각 機械가 서로 짧은 거리에 있을 때는 man-machine chart나 다른 도식 해법으로 最適生産량을 考慮한 人間-機械 할당수를 구할 수 있다. 그러나 1人當 할당받은 機械의 수가 수십대가 넘고 특히 機械들이 서로 거리를 두고 配置되어 있을 경우에는 기존의 이러한 方法들로는 많은 문제점이 있다. 이러한 경우에 機械의 配置에 관해 연구하고자 하는 것이 이 論文의 주요 목적이다.

循環 서비스의 경우에 우선 두 가지의 配置方法을 고려해 볼 수 있다. 하나의 方法은 作業者가 일련의 機械를 한번씩 돌고 나서 자기가 걸은 거리를 되돌아가야만 맨 처음의 機械로 올 수 있도록 配置하는 경우이다. 다른 方法은 作業者가 순서대로 각 機械를 돌고나면 걸어갈 필요없이 自動的으로 맨 처음의 機械위치로 와 있게 機械를 配置하는 方法이다. 前者의 경우를 開回路(open circuit)라 하고 後者の 경우를 閉回路(closed circuit)라 한다. 일반적으로 作業者는 作業하는데 開回路의 配置에 익숙할런지 모르나 다른 變化를 조금만 考慮하면 閉回路의 配置의 잇점을 발견할 수 있을 것이다.

완전한 循環 서비스 作業일 경우에는 作業者는 機械의 라인을 따라 가면서 停止한 機械를 손作業하고 나서 다음 순서의 機械로 가는 도중에 아주 가까운 곳에서 다른 機械가 停止해있다 하더라도 그 곳으로 가지말고 원래의 순서대로 機械를 찾아 손作業을 해야 한다. 그리고 다시 作業을 하기 위해서는 No. 1의 機械부터 시작해야 한다. 만일 開回路일 경우에는 다시 作業을 시작하기 위해서는 얼마간의 거리를 걸어가야만 No. 1의 機械에 도착할 수가 있다. 반면 閉回路일 경우에는 되돌아갈 필요없이 단지 機械하나 사이의 거리만 이동하면 된다. 그만큼 時間의 절약을 할 수 있을 것이다.

2. 4 作業者의 변동요인

作業者の 페이스가 一定하며, 機械의 손取扱時間이 거의 一定하다고 假定하면 1回 循環의 時間은 機械停止 回數에 따라 달라진다. 機械停止回數 또한 循環時間에 따라 달라진다. 이렇게 循環時間과 停止回數間的 相互 依存性 때문에 처음에는 이러한 것들을 분석 비교하기가 쉽지 않다. 作業者の 유휴 또한 複雜性을 더하는 要素중의 하나이다.

만일 作業자가 不規則한 時間을 임의의 時間에 停止한다고 한다면 循環時間을 一定하게 한다는 것은 불가능하다. 유휴時間을 고려하여 作業자가 한번 循環할 때마다 一定時間을 정해놓고 모든 機械를 停止한 상태에서 휴식을 취한다면 計算上 편리할 것이다. 이런 경우 경영자의 관점에서 보면 비록 그 생산량의 손실이 적을지라도 타당성이 있게 보이지는 않을 것이다.

이러한 狀況에서 産業工學者의 역할이 기대되는 것이다. 時間分析에서 실제 作業時間과 餘裕時間을 고려하여 平均標準時間을 설정하면 모든 機械를 동시에 停止시키지 않고 作業자는 一定한 循環時間을 유지하면서 餘裕를 가질 수 있게 될 것이다.

다음에 고려해야 할 사항이 作業者の 페이스가 變할 때인데 이 경우에는 뒤에서 다시 다루겠다.

2. 5 公式의 展開

만일 機械가 매 時間當 한번도 停止하지 않고 60분 동안 稼働한다고 하면 1時間에 1mch¹⁾를 얻는다. 즉 機械效率 1.0(100%)이라고 한다. 그러나 機械效率 1.0은 사실상 불가능하다.

機械의 停止는 바로 生産性의 손실을 가져오는데, 1인이 n대의 機械担當時에 1時間當 機械 1대의 平均 손실은

$$s / 2n$$

가 된다. 따라서 機械效率는

$$E = 1 - s / 2n \dots\dots\dots (1)$$

이 된다. 여기서 s는 1 cycle 동안 作業자가 停止한 機械停止의 平均回數이다.

$$s = \frac{b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} \dots\dots\dots (2)$$

로 나타낼 수 있다. a, b, c에 관해 차례로 알아보자.

Factor a : a = qt

여기서

q : 平均機械 作動時間(mrh)에 대한 平均停止回數

t : 한번 停止할 때 作業者の 손作業時間(分 단위)

이들 q, t의 값은 時間分析法로 얻어진다.

Factor b : $b = qn(2t - w) - 120k$
(closed circuit)

$b = 2qn(t - w) - 120k$
(open circuit)

여기서

w : 作業자가 다른 機械로 한번 옮기는데 걸리는 時間(分 단위)

k : 作業時間에서 餘裕를 공제한 실제 作業時間比率 $0 < k < 1$

다음

Factor c : $c = 2qn^2w$ (closed circuit)

$c = 4qn^2w$ (open circuit)

여기서 w는 상수와 L의 값으로 나타나는데 L은 이웃한 두 機械의 중심간의 거리를 나타내고, 상수는 作業자가 1步 걷는데 소요되는 時間(分)인데 사람마다 다르다. 여기서는 보통 걸음인 0.005 mm로 한다.

2. 6 公式의 證明

循環 서어비스의 조건하에서는 機械가 한번 停止하면 機械는 平均的으로 作業者の 1回 巡廻時間의 1/2을 휴지상태에 있게 된다는 것은 자명한 사실이다. 이러한 점을 기점으로 하여 機械效率를 구할 수 있다.

- (1) n대의 機械를 巡廻하는데 걸리는 平均巡廻時間 : y
- (2) 1회 巡廻時에 이상적으로 가능한 總機械稼動時間 : ny mc. min.
- (3) 1회 巡廻時 平均機械停止回數 : s
- (4) 1회 巡廻時 平均損失時間 : $s \cdot (y/2) = sy/2$
- (5) 1회 巡廻時 平均機械稼動時間 : $(ny - sy/2)$ mc. min.
- (6) 機械效率 E : $(ny - sy/2) = 1 - s/2n$

機械效率를 다른 말로 표현하면 機械時間(mc. hour)에 대한 機械稼動時間(mrh)數라고 할 수 있으며 그 값은 1보다 작게 된다. (6)은 作業자에 할당된 機械에 대한 效率를 s의 함수로 되어 있다. s를 구하려면 y의 값을 모르면 안된다. y와 s는 서로 종속변수이다. s를 구하기 위하여 y에 관한 식을 s의 두가지 함수로 표시해 보자.

- (7) 1時間 동안 作業者の 平均巡廻回數 : 60/y

1) mrh는 machine run hour 즉 機械稼動時間의 약어이다.

- (8) n 대 機械가 1 時間에 停止하는 總平均停止回數 : $60 \text{ s}/y$
- (9) 1 대 機械가 1 時間에 停止하는 平均回數 : $60 \text{ s}/ny$
- (10) 機械稼動時間(mrh)에 대한 平均停止回數 : $q = 60 \text{ s}/(ny \times E)$
- (11) E 를 소거하기 위해 (6)을 이용하면 : $q = 120 \text{ s}/(y(2n-s))$
- (12) y 에 관하여 표시하면 : $y = 120 \text{ s}/(q(2n-s))$
- (13) 1 회 停止時에 作業者 손作業時間 : t
- (14) 이웃 機械로 걸어가는데 걸리는 時間 : w
- (15) open circuit 일 때 걷는데만 걸리는 時間 : $2nw \text{ min.}^{2)}$
- (16) open circuit 일 때 실제 손作業時間 : st min.
- (17) open circuit 일 때 걷는 時間과 손作業時間의 합계 : $(2nw + st) \text{ min.}$
- (18) 餘裕를 고려한 巡廻時間 : $y = (2nw + st)/k \text{ min.}^{3)}$
- (19) (12) = (18) 로 놓으면

$$\frac{120 \text{ s}}{q(2n-s)} = \frac{2nw + st}{k}$$

(20) $qts^2 - [2qn(t-w) - 120k]s - 4qn^2w = 0$

(21) $a = qt, b = 2qn(t-w) - 120k, c = 4qn^2w$ 로 놓으면

$$20as^2 - bs - c = 0$$

(22) 근의 공식으로부터

$$s = \frac{b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}$$

만약 closed circuit 일 경우에는 (15)가 nw 로 되고 s 와 a 는 변하지 않으며 $b = qn(2t+w) - 120k, c = 2qn^2w$ 로 표시된다.

2. 7 標準機械效率의 適用例

자료

- 1인당 拒當機械數 $n = 20$
 - 機械稼動時間에 대한 停止回數 $q = 12$
 - 1回 停止當 作業者 손作業時間 $t = 0.2$
 - 1-作業者 餘裕率(12%) $k = 1 - 0.12 = 0.88$
 - 두機械 중심간 거리 $L = 2.0 \text{ feet}$
 - 機械配置는 일렬로 配置 open circuit
- 위와같은 자료에서 標準機械效率을 구하여보자.

즉 $E = ?$

먼저 s 를 구하기 위하여 a, b, c 를 구한다.

Factor a : $a = qt = 12 \times 0.2 = 2.4$

Factor b : $b = 2qn(t-w) - 120k$ 단, $w = 0.005L = 0.005 \times 2.0 = 0.01$

$$b = (-14.4) \quad b^2 = 207.36$$

Factor c : $c = 4qn^2w = 192$

Eq. 2 에서 $s = \frac{b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}$

Eq. 1 에서 $E = 0.84$

즉 84%의 機械效率이 된다.

機械效率 84% 라는 의미는 16%의 總生産損失을 감당해야 한다는 것이다.

만약 機械가 완전한 自動化가 되면 機械간섭時間을 없게 作業 스케줄을 잡으면 어떠한 변화가 일어나는가 알아보자.

1 巡廻時間을 $62.4(60 + 2.4) \text{ min.}$ 으로 잡으면 60분 機械稼動時間에 대한 停止時間은 2.4가 될 것이다. 이 경우에 機械效率 $E = 0.962 (= 60 / 62.4)$ 가 되고, 損失은 0.038 즉 3.8%가 된다.

3. 提 言

3. 1 速度(speed)

3. 1. 1 作業者 速度(operator speed)

作業者의 速度가 25% 증가한다면, 또는 作業이 25% 감소하고 速度는 원래대로 유지한다면 -이 두가지의 경우는 결국 동일한 결과가 되므로 分析時에 같이 取扱함 - 어떻게 달라지는가 알아보자.

우선 t 가 0.16 min. (0.20 min 대신)이 되고 다른 것은 변화가 없을 경우

$$a = 1.92 \quad b = -33.6 \quad b^2 = 1130 \quad c = 192$$

$$s = 4.53. \quad E = 0.887$$

이 된다. 즉, 作業者는 1시간당 47번 巡廻하며 平均 1회 巡廻時間은 1.28 min. (餘裕時間 0.153 min 포함)이 된다. 원래 pace 상태에서는 1時間에 31.4회 巡廻하고 1巡廻時間은 1.91 min. (餘裕 0.226 min. 포함) 이었다.

여기서 흥미있는 사실은 作業者가 더 바빠지는 것은 巡廻回數나 할당機械數와는 무관하고 그 作業에 설정된 휴식에 달려 있다는 점이다. 이것이 바로 cyclic servicing의 특징이다. Rand servicing일 경우에는 作業者는 모든 機械가 작동하고 있을 경우에도 계속 돌아다녀야 한다는 規定만 없으면 適當할 때 일 수도 있을 것이다.

3. 1. 2 機械 速度(Machine Speed)

2) open circuit 이므로 No. 1의 機械로 가기 위해서는 다시 되돌아 가야하므로 nw 의 2배가 된다.

3) k 는 여유를 공제한 作業時間의 比率, 즉 $k = 1 - \text{여유율}$.

作業者 速度는 변하지 않고 機械速度가 25% 증가할 때 速度의 增加比率보다 훨씬 빠른 速度로 증대되는 것이 일반적인 사실이나 편의상 정비례로 증가한다고 한다.

변화된 값을 대치해 보면

$$q = 15 \quad a = 3.0 \quad b = 8.4 \quad b^2 = 70.6$$

$$c = 240 \quad 4ac = 2880 \quad s = 10.43 \quad E = 0.74$$

가 된다. 平均 1회 巡廻時間은 2.28 (餘裕時間 0.34 포함)이 된다. 1時間當 巡廻回數는 21.3 회가 된다. 이 경우 1인당 20대의 機械할당수는 비경제적이라 할 수 있다.

機械速度는 증가했는데 機械效率는 84%에서 74%로 떨어졌다. 그렇다면 생산량의 증가는 어떠한가. 물론 증가될 것이다. 얼핏보아서는 $A (=nE)$ 가 16.8에서 14.8로 떨어졌다고 볼 것이다. 그러나 처음과 두번째의 mrh의 基準이 달라졌기 때문에 두번째의 mrh 의는 처음의 1.25 mrh가 되어야 한다. 그러므로 사실은 $14.8 \times 1.25 = 18.5$ mrh가 된 것이다.

3. 1. 3. 最適機械担當數

最適機械担當數를 決定하려면 먼저 어떤 評價基準

이 最適機械担當數를 決定하는가를 알아야 한다.

만약 評價基準이 mrh에 대한 생산 코스트라고 하면 mrh에 대해 가장 적은 코스트가 들어가는 경우의 機械할당수가 最適이 될 것이다.

앞에서 사용했던 자료에다가 機械의 간접비를 고려해보자. 간접비는 作業者의 時間當 임금의 1/10에 해당하는 hours pay로 된다고 하자. 그러면 20대의 機械는 1時間에 대한 간접비가 2.0 hours pay가 될 것이다. 作業者 임금과 간접비의 합계 時間當 코스트는 3.0 hours pay가 된다.

1時間에 보통 作業者는 平均 16.8 mrh ($nE = 20 \times 0.84$)를 생산하게 된다. 1mrh에 대한 코스트는 0.1787 hours pay (= 3.0 / 16.8)이 된다.

1人當 機械의 할당수를 변화해가면서 반복하여 Unit Cost를 計算해 보면 最適機械할당수를 구할 수가 있다. 이때 표-1과 같은 Worksheet를 사용하면 편리하게 처리할 수가 있다.

표-1에서 보면 1인당 18대의 機械를 할당하면 Unit Cost가 가장 적게 드는 最適機械할당수를 구할 수가 있다.

表 1. 서비스에서 最適機械割當 - Open Circuit

		$s = \frac{b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}$		$\frac{b^2 + 4ac = d}{b + \sqrt{d}} = f$		$s = \frac{f}{2a}$		
시간분석법		Factor a	Factor b		Factor c			
t = 0.2	w = 0.01	a = gt	$\ell = 2q(t-w) = 4.56$		4qw = 0.48			
q = 12	k = 0.88	= 2.4	m = 120k	= 105.6	c = 4qwn ²			
			b = ln - m	= 4.56n - 105.6	= 0.48n ²			
Line								
1	n	12	14	16	18	20	22	24
2	ln	54.72	63.84	72.96	82.08	91.20	100.32	109.44
3	b	-50.88	-41.76	-32.64	-23.52	-14.40	-5.28	+3.84
4	b ²	2,585	1,745	1,068	552	207.36	27.84	14.75
5	n ²	144	196	256	324	400	484	576
6	c	69.1	94.1	122.8	155.8	192	232	276
7	4ac	663.6	903.4	1,178.9	1,492.8	1,843	2,227	2,650
8	d	3,248.6	2,648.4	2,247.	2,045	2,051	2,255	2,664
9	\sqrt{d}	57	50.4	47.35	45.1	45.2	47.5	51.76
10	f	6.12	8.64	14.71	21.58	30.8	42.22	55.44
11	s	1.275	1.80	3.33	4.49	6.42	8.80	11.53
12	s/2n	.0531	.0642	.104	.1247	.1602	.2000	.2395
13	E	.947	.936	.896	.875	.840	.800	.760
14	A [=nE]	11.36	13.10	14.32	15.75	16.79	17.60	18.25
15	Hourly Cost	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
16	Unit Cost	.194	.183	.182	.178	.179	.182	.186

4. 結 論

이 論文에서 研究하고 있는 것은 生産性的 決定을 하기 위해서, 生産性 變化에 影響을 미치는 各 要因들, 즉 作業內容·作業者速度·機械速度·機械停止頻度 등의 要因들 相互關係를 循環 서비스(cyclic service) 시스템에서의 機械作業效率을 고려한 機械割當에 관한 情報을 얻는 것이다.

어떤 機械作業의 作業標準時間을 구하거나 機械의 配置를 決定하기 위하여 生産 코스트에 影響을 주는 各 要因에 관한 分析時에 여기서 論한 方法이 도움이 될 수 있을 것으로 알며, 또 다른 각도에서의 더 效率的인 分析方法이 研究될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. 李 根熙, 作業管理, 創知社, 1980.
2. 李 震圭, 動作 및 時間研究, 綠苑出版社,

1983.

3. Vera Riley, Queueing Theory, The Operations Research Office, The Johns Hopkins University, Chevy Chase, Maryland, April 1956.
4. Thomas F. O' Connor, Probability and Productivity, Emmott and Company, Manchester, England, 1952.
5. Francis, R. L., and J. A. White, Facility Layout and Location : Applied Approach, Prentice-Hall, Englewood Cliff, N. Y., 1974.
6. Thomas F. O' Connor, "Random Servicing," Textile World, 1958.
7. Buffa, E. S., "Suquence Analysis for Functional Layouts," Journal of Industrial Engineering, 6 (2). March-April, 1955.