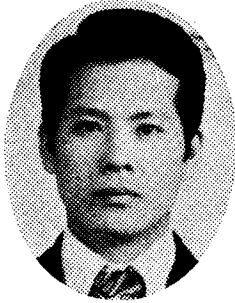


# 動作時間分析에 依한 作業改善研究

—PCB 組立作業을 事例로—

## A Work Improvement Study by Motion-Time Analysis.



大有工業專門大學教授 朴 聖 鶴\*

### 目 次

I. 序 論	Ⅲ-1. 動作順序의 改善
Ⅱ. 改善前 作業方法	Ⅲ-2. 作業動作과 作業臺配置의 改善
Ⅱ-1. 作業方法	Ⅲ-3. 回轉部品供給臺에 依한 改善
Ⅱ-2. 動作時間分析	Ⅳ. 結 論
Ⅲ. 作業改善研究	

### Abstract

This paper is one of the case studies to improve the labor productivity of PCB assembly through Work Factor motion-time analysis and the application of the motion economy principles and the human factors engineering theory.

In result, we can improve 129% of the labor productivity by using a rotary table for the parts delivery.

Therefore, it is expected that this result can be used for a lot of the manual works of the small and medium-sized industries especially.

### I. 序 論

生産性 向上은 企業의 발전은 물론 국가 경제 발전과 더 나가서 국제 경쟁력 強化의 要件이며 그 중요성은 날로 증대되고 있다.

이를 위해서 많은 선진국에서는 이미 컴퓨터 (Computer)와 로봇(Robot)를 이용하여 製造 工程을 自動化하기에 이르렀고 이러한 추세는 계속 가속화할 것으로 예상된다.

이와 같이 제조공정을 자동화하기 위해서는 少 種의 製品을 계속 多量生産할 수 있고 많은 자본투자가 가능한 시장과 자본이 구비되어야 한다.

뿐만아니라 자동화에 따른 遊休人力을 고용할 수 있는 사회적인 고용능력도 하나의 制限條件이라 할 수 있다.

따라서 생산성 향상을 위해서는 제조공정의 자동화에 못지 않게 작업의 연구 개선이 이루어져

\* 生産管理技術士(工場管理)

야 한다.

本 論文에서는 노동집약산업인 전자제품 조립 작업의 一部分인 PCB(Printed Circuit Board) 조립 작업을 Work Factor 법을 사용하여 動作時間으로 분석하고, 動作經濟의 原則과 人間工學의 原理를 응용하여 작업 시간을 절감하고 생산성을 향상시킬 수 있는 작업 개선에 관하여 연구, 검토하고자 한다.

## II. 改善前 作業方法

### II-1. 作業方法

그림 1에서와 같이 배치된 부품통으로부터 왼손으로 부품을 집어서 오른손으로 옮겨 잡은 뒤 PCB에 조립을 하는 작업으로 번호에 따라 순서대로 부품을 옮겨서 조립한다.

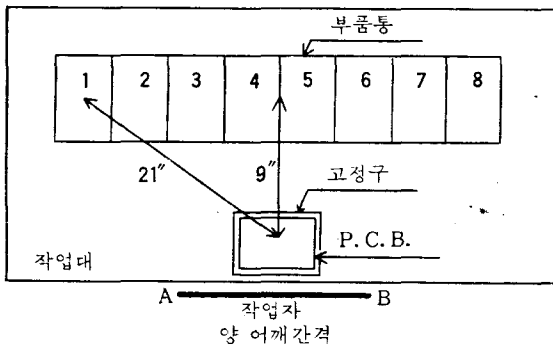


그림 1. 개선전 작업대 배치도

### II-2. 動作時間分析

PCB에는 저항(Resistor), 콘덴사(Capacitor), 다이오드(Diode), 트랜지스터(Transistor)와 여러 종류의 전자부품을 각 부품통에 담아 놓고 조립을 하는 것이지만 作業改善의 成果를 알기 쉽게 비교 평가하기 위하여, 그림 1의 8개 부품통에 전기적인 특성은 다르나 물체의 규격이 같은 저항만을 담아 놓고 조립한다고 가정할 경우에 동작시간을 분석하면 다음과 같다.

#### 1) 作業條件

a) PCB와 부품통간의 평균거리

$$\frac{21\text{인치} + 9\text{인치}}{2} = 15\text{인치}$$

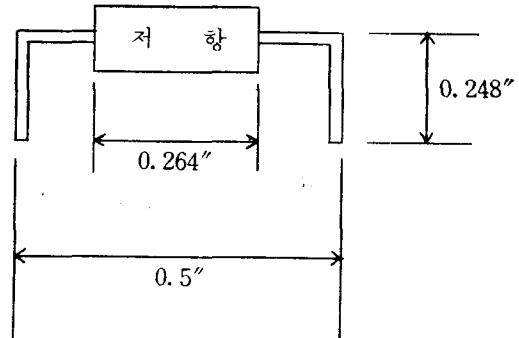
1) WF의 時間單位 1WFU=0.0001分이며 WF 법에 대해서는 Maynard, H.B., (Industrial Engineering Handbook), McGraw-Hill Book Co., 1963, pp.5-39~5-96 참조.

b) PCB 구멍의 직경 : 0.032인치

c) 저항의 규격

물체의 직경 : 0.087인치

다리의 직경 : 0.026인치



### 2) 動作分析과 作業測定

저항을 집으러 왼손을 이동해서부터 바른손이 저항을 PCB에 조립하고 다음 저항을 붙잡으러 이동하기까지의 1사이클(Cycle) 작업동작을 워크 팩터법의 기본동작으로 분석하고 왼손동작과 바른손동작으로 구분하여 표 1의 요소동작란에 기록한다.

그리고 각 요소동작을 WF 법의 동작기호로 분석기록하고 각 요소동작 시간을 WF 동작 시간 표<sup>1)</sup>로부터 선정하여 기록하고 累積時間을 계산하면 표 1에서와 같이 正味時間 522WFU(=0.0522·)를 구할 수 있다.

## III. 作業改善 研究

### III-1. 動作順序의 改善

#### 1) 問題點 檢討

표 1에서 보는 바와 같이 작업동작이 왼손동작과 바른손동작으로 구분되어 있으나, 왼손이 저항을 집어 와서 바른손에 넘겨 줄때까지 바른손은 쉬고 있으며 바른손이 저항을 옮겨 잡아서 PCB에 조립하고 저항을 다시 붙잡으러 갈 때까지 왼손이 쉬고 있으므로 실제 生産性은 한손만이 작업한 결과가 된다.

#### 2) 改善方案

양손이 동시에 일을 할 수 있도록 動作順序를

표 1 개선전의 동작시간 분석

번호	원 손 동작			누적		바 른 손 동작		
	요소 동작	동작 분석	요소 시간	시 간	요소 시간	동작 분석	요소 동작	
1	저항을 잡으러 간다	A15D	17	71				
2	저항을 붙잡는다.	0.5×φ0.087						
3	1차 붙잡기	F1	16	87				
4	2차 붙잡기	—	—					
5	분리	V1 $\frac{3}{4}$ F19	40	127				
6	업힌 목표물 추가분리	8×2	16	143				
7	전치동작	V3F1-50%	24	167				
8	저항을 갖고 온다.	A15D	71	238		F1		
9	저항을 놓는다.	F1	16	254	254	16	A3SD	저항을 옮겨 잡는다.
10					295	41	CT=0.032	저항을 PCB로 옮긴다.
11							r=0.81	저항을 조립한다.
12				373	78	V3AIS	축합 (Align)	
13				412	39	50%-78	동시 동작요소 (SIMO)	
14				438	26	A1S	색합 (Index)	
15				456	18	A1	삽입 (Insert)	
16				482	26	A1P	정좌 (Seat)	
17				490	8	$\frac{1}{2}$ F1	저항을 놓는다	
18				522	32	A3D	저항을 붙잡으러 간다.	

결정하는 것이 경제적이다.<sup>2)</sup>

바른손이 저항을 옮겨 잡아서 PCB에 조립하는 동안에 왼손은 저항을 부품통으로부터 붙잡아서 갖고오도록 동작순서를 변경하면 양손이 쉬지 않고 작업을 할 수 있도록 개선이 가능하다.

3) 動作時間分析結果

이상의 개선방안에 따라 동작순서를 개선하여

作業測定을 한 결과 표 2에서와 같이 정미시간이 284WFU로서 개선 전보다 84%나 생산성이 향상된 것을 알 수 있다.

III-2. 作業動作과 作業臺配置의 改善

1) 問題點 檢討

동작순서 변경에 의해 생산성이 84%나 개선

표 2. 동작순서 개선후의 동작시간 분석

번호	원 손 동작			누적		바 른 손 동작		
	요소 동작	동작 분석	요소 시간	시 간	요소 시간	동작 분석	요소 동작	
1	저항을 잡는다.	F1	16	16	16	F1	...	
2	저항을 집으러간다.	A15D	71	87	58	41	A3SD	저항을 PCB로 옮긴다.
3	저항을 붙잡는다.							저항을 조립한다.
4	1차 붙잡기	F1	16	103	135	78	V3A1S	축합
5	2차 붙잡기	—	—	174	39	50%-78	동기 동작요소	
6	분리	V1 $\frac{3}{4}$ F19	40	143	200	26	A1S	색합
7	동시 동작요소	50%-40	20	163	218	18	A1	삽입
8	업힌 목표물	12×2	24	187	244	26	A1P	정좌
9	전치 동작	V3F1-50%	24	211	252	8	$\frac{1}{2}$ F1	저항을 놓는다.
10	저항을 갖고 온다.	A15D	71	282	284	32	A3D	저항을 붙잡으러간다.
11	기다린다.	BD	2	284				

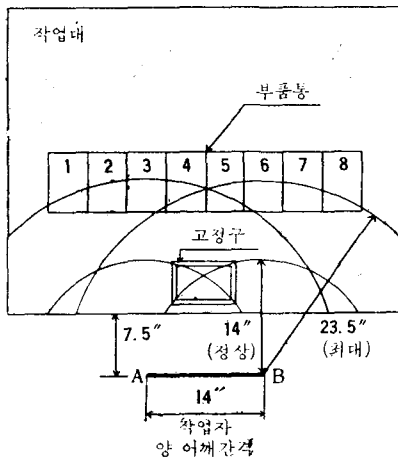
2) Nieble, B.W., (Motion and Time Study), Richard D. Irwin, Inc., 1976, p. 111.

되었으나 동작경계의 원칙이나 인간공학적 측면에서 볼 때 좀 더 개선할 문제점이 있다.

a) 왼손으로 저항을 붙잡아서 오른손으로 옮겨주기 때문에 저항을 옮겨 잡는 동작과 오른손이 저항을 PCB로 다시 옮기는 개선이 가능한 동작이 있다.

b) 이 작업을 여자 작업자가 한다고 가정할 경우에 부품통 1번부터 8번까지 왼손으로 저항을 집어오게 되면 그림 2에서 보는 바와 같이

그림 2 여자 작업자의 팔 동작범위



c) 부품통 상반부가 모두 양손의 최대 동작거리를 벗어나고 있다.

2) 改善方案

양손은 몸쪽으로 또는 몸쪽으로부터 앞면 대칭방향으로 동시에 움직이는 것이 경제적이다.<sup>4)</sup>

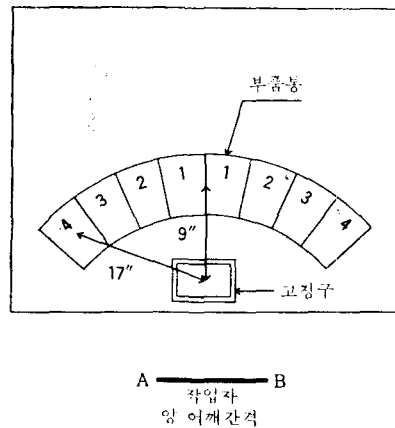
따라서 왼손과 오른손이 동시에 각각 저항을 집어와서 PCB에 조립할 수 있도록 작업동작을 변경하면 양손동작을 원활하게 할 수 있을 뿐만 아니라, 저항을 왼손에서 오른손으로 옮겨잡는 동작과 오른손이 옮겨 잡은 저항을 PCB로 다시 옮기는 동작을 배제할 수 있다.

또한 부품통의 밑면 뒷 부분을 앞 부분보다 높게 하여 앞으로 경사지게 하면 저항이 앞으로 미끄러져 내려오게 할 수 있으며, 그림 3에서와 같이 부품통의 앞면 폭을 뒷면 폭보다 좁게 하여 부채꼴로 배치하면 부품통 모두가 작업

부품통 6번부터 8번까지는 왼손 어깨관절을 기준으로 한 왼팔의 최대 동작거리 23.5인치<sup>3)</sup>를 완전히 벗어나게 되므로 몸통 移動動作을 수반하게 된다.

이때의 몸통 이동동작 시간은 왼팔의 동작 시간에 포함되므로 시간적으로는 변 문제가 되지 않으나 이러한 동작이 계속 반복되면 작업자가 쉽게 피로하게 되며 결과적으로 作業能率에 영향을 미치게 된다.

그림 3 작업대 개선배치도



자의 최대 동작 범위내에 들어갈 뿐 아니라 결과적으로 PCB와 부품통간의 평균거리를 15인치에서 13인치로 줄일 수 있다.

3) 動作時間分析과 改善結果

이상의 개선방안과 같은 조건에서 동작시간 분석을 하면 표 3과 같이 정미시간 486WFU를 얻을 수 있으며, 이 시간은 양손이 각각 동시에 2개의 저항을 부품통으로부터 집어 와서 조립한 시간이므로 1개의 저항을 조립한 정미시간은 243WFU로서 1차 개선방법의 정미시간 284WFU에 비해 생산성이 17% 향상된 것이다.

III-3. 回轉部品供給臺에 依한 改善

1) 問題點 檢討

a) 부품은 작업자의 정면 가깝게 놓는 것이

3) Barnes, R.M., (Motion and Time Study), Modern Asia Edition, 1967, p. 251.

4) 李根熙, (作業管理), 創知社, 1979, p. 173.

표 3. 동작과 배치개선 후의 동작시간 분석

번호	왼 손 동 작			누 적 시 간	바 른 손 동 작		
	요 소 동 작	동 작 분 석	요 소 시간		요 소 시간	동 작 분 석	요 소 동 작
1	저항을 집으러 간다.	A13D	67	67			왼손 동작과 동일함
2	저항을 붙잡는다						
3	1차 붙잡기	F1	16	83			
4	2차 붙잡기	—	—				
5	분리	$V1\frac{3}{4}F1P$	40	123			
6	동시 동작요소	50%-40	20	143			
7	얇힌 목표물	12×2	24	167			
8	전치 동작	V3F1-50%	24	191			
9	동시 동작요소	50%-24	12	203			
10	저항을 갖고 온다.	A13SD	88	291			
11	저항을 PCB에 조립						
12	축합	V3A1S	78	369			
13	동시 동작요소	50%-78	39	408			
14	색합	A1S	26	434			
15	삽입	A1	18	452			
16	정차	A1P	26	478			
17	저항을 놓는다.	$\frac{1}{2}F1$	8	486			

경제적이다.<sup>5)</sup>

이런 점에서 볼 때 부품통의 배치변경에 의하여 양손의 동시 대칭 동작과 동작거리는 개선되었으나 PCB와 4번 부품통과의 거리가 17인치나 되며 작업자의 정면에서 좌우로 갈라져서 놓여 있으므로 좀더 개선할 필요가 있다.

b) 눈동자의 좌우회전의 최적 범위는 30도이고 최대범위는 70도이다.<sup>6)</sup>

그러나 일반적으로 작업중에 40도를 넘는 눈동자의 회전이 필요한 경우에는 머리회전 또는 몸통회전을 수반하게 된다.<sup>7)</sup>

또한 작업대로부터 눈까지의 높이는 평균 13인치(11~15인치)<sup>8)</sup>가 정상이며, 그림 3에서 작업대의 가장자리로부터 부품통까지의 거리는 16인치이다.

따라서 눈으로부터 부품통까지의 거리는 평균 21인치(=  $\sqrt{13^2+16^2}$ )가 된다.

그러므로 눈으로부터 21인치 떨어져 있는 곳

에서 눈동자회전의 최적범위 30도가 되는 시야의 범위는 11인치(=  $2 \times 21'' \times \tan 15^\circ$ )가 된다.

그림 3과 같이 배치된 좌우의 4번부품통 중심간의 거리는 31인치로서 최적 시야 범위 11인치를 초과하므로, 좌우 부품통 3번과 4번으로부터 저항을 붙잡을 경우에는 머리 회전 동작을 수반한다.

이때 머리회전 동작 시간은 양손 동작 시간에 포함되므로 시간을 별도로 요하지는 않으나 이와같은 동작이 반복되는 경우에도 작업자가 피로하게 되며 작업능률에 영향을 미치게 된다.

2) 改善方案

이상에서 검토한 바와 같이 불필요한 머리 회전을 배제하고 양손의 이동 동작 거리를 좀 더 줄이기 위해서는 부품통을 작업자의 정면 가까이 놓아야 한다.

그러나 부품통의 배치변경만으로는 부품통 자체의 면적때문에 불가능하다.

5) Barnes, R.M., (Motion and Time Study Design and Measurement of Work), Library of Congress Cataloging in Publishing Data, 1980. p. 202.

6) Dreyfuss, H., (The Measure of Man), Whitney Library of Design, 1967, p. H1.

7) Quick, J.H., (Work-Factor Time Standards), McGraw-Hill Book Co., 1962, p. 165.

8) Huchingson, R.D., (New Horizons for Human Factors in Design), McGraw-Hill Book Co., 1981, p. 198.

따라서 부품통을 작업자의 정면 가깝게 이동시킬 수 있는 방법, 즉 그림 4에서와 같이 회전부품공급대를 사용하면 부품통을 작업자의 정면에 놓을 수 있으며 PCB와 부품통간의 평균거리도 13인치에서 8인치로 줄일 수 있다.

### 3) 回轉部品供給臺의 作動原理

회전부품공급대는 양손이 1번 부품통으로부터 저항을 집어들 동안에는 멈추어 있다가 저항을 조립하는 동안에 2번 부품통을 작업자의 정면까지 정확히 회전시켜서 다시 멈출 수 있고, 이와 같은 작동이 반복될 수 있어야 한다.

그러기 위해서는 홀·페달(Foot Pedal), 레버(Lever), 웜·기어(Worm Gear), 정지기구(Stopper) 등을 사용한 기계적인 방식과 光·電氣感應裝置(Photo-Electric Sensing Device), 光源(Luminous Source), 모터(Motor), 릴레이(Relay), 位置指針板(Indexing Plate), 停止機具(Stopper) 등을 사용한 전자식 자동 방식을 생각할 수 있다.

그러나 기계적인 방식에서는 회전부품 공급대의 작동을 다리동작에 의해서 해야 하므로 작업자의 피로원인을 제거하겠다는 본래의 목적에 위

배되므로 전자식 자동방식을 이용하는 것이 바람직하다.

전자식 자동방식은 그림 4의 광·전기 감응장치<sup>9)</sup>를 통과하는 양손 동작에 의해서 부품공급대의 회전모터와 정지기구의 릴레이가 매회 작동하여 부품공급대의 회전과 정지를 반복시키는 방식이다.

부품공급대의 회전은 광전기감응장치가 작업대에 부착된 광원으로부터 광선을 차단 후 다시 받을 때에만 이루어진다.

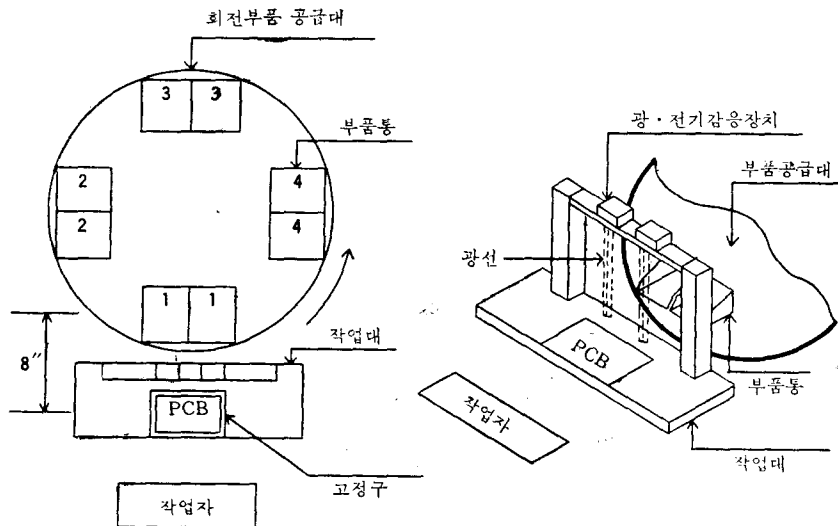
부품공급대의 정지는 부품공급대의 밑 바닥에 부착된 위치지침판에 그 밑에서 上·下로 작동하는 정지기구가 制動을 걸므로 이루어진다.

부품공급대가 정지되었을 때, 두개의 부품통은 작업자와 두개의 광선을 정면에 정확히 위치하게 된다.

광·전기 감응장치는 광선의 차단과 재연결에 의해서 1회의 광전효과(Photo Electric Effect)를 얻을 수 있도록 광전지(Photo Cell)<sup>10)</sup>를 사용한 전자회로로 구성된다.

광·전기 감응장치의 광전효과에 의하여 이 회로에 연결된 릴레이가 작동하게 되면, 릴레이의

그림 4 회전부품 공급대를 사용한 작업장 배치도



9) 광전기 감응장치는 Light-Trigerred One-Short 회로를 사용하여 설계할 수 있다.

Markers, J., (Guide Book of Electronic Circuit), McGraw-Hill Book Co., 1974, p.633 참조.

10) 광전지의 원리에 대해서는 김기호편(트랜지스터, 기술입문), 전자기술사, 1971, p.13 참조.

표 4. 회전부품공급대 사용후의 동작시간 분석

번호	원 손 동 작			누 적 시 간	바 른 손 동 작		
	요 소 동 작	동 작 분 석	요 소 시간		요 소 시간	동 작 분 석	요 소 동 작
1	저항을 집으러 간다.	A8D	54	54			원손 동작과 동일함
2	저항을 붙잡는다.						
3	1차 붙잡기	F 1	16	70			
4	2차 붙잡기	—	—				
5	분리	$V1\frac{3}{4}F1P$	40	110			
6	동시 동작요소	50%—40	20	130			
7	얇힌 목표물	12×2	24	154			
8	전치 동작	V3F1—50%	24	178			
9	동시 동작요소	50%—24	12	190			
10	저항을 갖고온다.	A8SD	70	260			
11	저항을 PCB 에 조립						
12	축합	V3A1S	78	338			
13	동시 동작요소	50%—78	39	377			
14	색합	A1S	26	430			
15	삽입	A1	18	421			
16	정좌	A1P	26	447			
17	저항을 놓는다.	$\frac{1}{2}F 1$	8	455	455		

자력<sup>11)</sup>에 의하여 정지기구가 위치지침판으로부터 떨어지게 되고 부품공급대는 왼쪽으로 회전하기 시작한다. 그리고 정지기구는 스프링(Spring) 탄력에 의하여 위치지침판에 다시 붙어서 위치지침판의 제동점까지 부품 공급대의 회전이 가능하게 한다.

4) 動作時間分析과 改善結果

a) 회전부품공급대를 사용하여 양손의 이동 동작거리를 8인치로 줄이므로서 표 4 에서와 같이 정미시간은 228WFU가 되고, 2차 개선방법의 정미시간 243WFU보다 생산성이 7% 향상된 시간이다.

b) 부품통을 작업자의 정면 가깝게 놓을 수 있으며, 양손이 작업자의 몸쪽 또는 앞쪽으로 동시에 움직일 수 있으므로 동작경계의 원칙<sup>12)</sup>을 만족시킨다.

c) 작업자의 팔 동작범위와 눈동자 회전범위 내에 작업장배치를 하므로서 피로 및 능률저하의 원인이 될 수 있는 몸통 이동동작과 머리 회전동작을 제거할 수 있다.

지금까지 연구한 결과를 종합해 볼 때 표 5에서 볼 수 있듯이 회전부품공급대를 사용하므로서 개선전 작업방법에 비해 129%의 生産性을 향상시킬 수 있었다.

뿐만아니라 팔 이동동작의 거리를 최소화하므로서 피로의 원인이 될 수 있는 몸통이동 및 머리회전동작을 배제할 수 있었다.

결론적으로 手作業에서는 작업자의 미세 동작들이 하나의 작업을 형성하고 이들 동작의 거리가 작업시간의 함수가 되므로 불필요한 동작은 제거하고 필요한 동작은 그 거리를 최소화해야 한다.

그러기 위해서는 작업의 동작시간을 분석하여 문제동작을 발견하고 동작경계의 원칙과 인간공학의 원리를 활용하여 全作業動作을 합리적으로 개선해야 한다.

이와 같은 개선방법은 많은 手動作業에 활용할 수 있으므로, 특히 多種少量生産 및 手動作業이 主類를 이루고 있는 中小企業에서 제조공정의 자동화 이전에 보다 폭넓은 이해와 활용이 기대 된다.

11) 릴레이의 원리에 대해서는 Peek, R.L. & Wagar, H.N., (Switching Relay Design), D.V. Nostrand Co., 1955, pp.27~30 참조.

12) Barnes, R.M., (Motion and Time Study), Modern Asia Edition, 1967, pp.215~301 참조

표 5. 개 선 결 과 증 합

改 善 內 容		개 선 전	동 작 순 서	동작과 배치	회전부품 공급대 사용
正 味 時 間		522WFU	284WFU	243WFU	228WFU
生 産 性 向 上	전 단계 기준	—	84%	17%	7%
	개선전 기준	—	84%	115%	129%
動 作 改 善		—	—	몸통이동 동작제거	머리회전 동작제거

參 考 文 獻

김기호(트랜지스터 기술 입문), 전자기술사, 1971.  
 이근희(작업관리), 창지사, 1979.  
 이근희(작업관리의 이론과 실제), 창지사, 1981.  
 이순요(작업관리), 박영사, 1875.  
 Barnes, R.M., (Motion and Time Study), Modern Asia Edition, 1967.  
 Barnes, R.M., (Motion and Time Study Design and Measurement of Work), Library of Congress Cataloging in Publication Data, 1980.  
 Dreyfuss, H., (The Measure of Man), Whitney Library of Design, 1967.  
 Huchingson, R.D., (New Horizons for Human Factors in Design), McGraw-Hill Book Co., 1981.  
 Markers, J., (Guide Book of Electronic Circuit), McGraw-Hill Book Co., 1974.  
 Maynard, H.B., (Industrial Engineering Handbook), McGraw-Hill Book Co., 1963.  
 Niebel, B.W., (Motion and Time Study), Richard D. Irwin, inc, 1976.  
 Peek, R.L. & Wagar, HN., (Switching Relay Design), D.V. Nostrand Co., 1955  
 Quick, J.H., Duncan, J.H., & Malolm, J.A., (Work-Factor Time Standard, McGraw-Hill Book Co.,

單行本發刊 販賣案内

册 名 : 海外建設工事契約과 紛爭處理運用

著 者 : 金 炯 根

發 行 處 : 韓 國 工 學 社

Tel : 714-7291

715-6310

發 刊 豫 定 日 : 1983 年 11 月 初 旬 頃

部 數 : 300 部 限 定 版 (豫 約 歡 迎)