

# Man-Machine Chart를 이용한 조립라인의 생산성 향상 사례 연구\*

- A Case Study for Improving the Productivity of Assembly Line  
using Man-Machine Chart -

정 병 용 \*  
Jeong Byung Yong

## Abstract

The purpose of a man-machine chart is improved utilization of a man or a machine. Improved utilization can mean less idle time, rebalanced idle time, or less idle time of an excessive component. In this study we improved the productivity of the assembly line in the electronics company using man-machine chart. The results are applicable for improving the effectiveness of line balancing problems in the electronics industry.

**Keywords : Man-Machine Chart, Productivity, Line Balancing**

## 1. 서 론

전자 제품 조립라인 공장과 같은 대량 생산 공장에서는 제품을 만드는 순서별로 생산 설비와 작업자를 배치하는 라인 생산 방식으로 설계되어 있다.

라인 생산 방식은 컨베이어에 의해 작업 대상물이 이동되도록 시설을 배치해야 하므로 생산 물량이 라인 설치비용을 부담할 수 있을 만큼 충분해야 하며, 컨베이어가 한번 시동되면 라인은 계속 흘러야 하기 때문에 각 작업에 필요한 작업 시간은 비슷해야 한다[2].

라인 생산 방식에서는 컨베이어가 계속하여 흘러가기 때문에 작업자마다 시간이 다르면, 일찍 작업을 끝낸 다른 작업자는 쉬게 되며(유휴 현상), 작업 시간이 긴 작업자 앞에서는 작업 대상물이 쌓이게 된다.

---

\* 한성대학교 산업공학과

\* 본 연구는 한성대학교 2003학년도 공학연구센터 특별연구비 지원 과제임

이렇게 작업 시간이 길어 전체 작업을 지연 시킬 수 있는 작업을 병목(bottle neck) 작업 또는 애로 작업이라 한다. 라인 생산 방식에서 컨베이어를 설치할 때는 목표로 하는 주기 시간을 정하고 각 작업을 주기 시간 안에 맞추어 배치하게 된다. 필요한 작업 시간과 목표로 하는 주기 시간을 고려하여 어떻게 하면 라인의 공정 효율을 높일 수 있는가를 찾는 것은 전형적인 라인 밸런싱 문제가 된다.

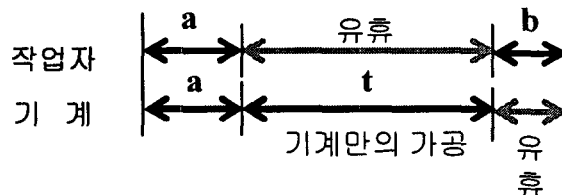
본 연구는 전자 회사의 라인 밸런싱 문제에서 man-machine chart를 이용하여 작업장을 개선하고 생산성을 향상시키는 문제를 다루고자 한다. 즉, 전자 회사를 대상으로 조립라인에서 작업자가 자동기계를 담당하는 상황을 man-machine chart를 이용하여 분석하고 공정을 개선한 사례를 보여주고자 한다.

## 2. Man-Machine Chart와 Line Balancing

라인생산 방식에서 라인 설계자는 목표로 하는 주기 시간을 맞추기 위하여 작업 시간이 긴 작업은 병렬로 작업대를 배치하거나, 작업자가 담당해야 하는 동종의 기계 대수를 늘림으로서 주기 시간을 조정할 수 있다.

작업자가 동종의 기계를 여러 대 담당할 수 있는 경우에 몇 대를 담당하는 것이 경제적인가 하는 문제는 man-machine Chart를 이용하여 구할 수 있다. man-machine chart는 작업자와 기계로 이루어진 작업의 현황을 체계적으로 파악하여 기계와 작업자의 유휴시간을 단축하고 작업 효율을 높이는데 이용된다[3].

<그림 1>에서 보는 바와 같이 일반적으로 라인 작업에서 기계에 의한 자동 가공 시간은 긴 반면에 작업자의 작업 시간은 자재를 물리거나 빼내는 작업 또는 검사 등에 소요되는 시간 정도이어서 기계 작업 시간에 비해 상대적으로 짧다. 따라서 효율을 높이기 위하여 작업자는 동종의 기계를 여러 대 담당할 수 있다.



<그림 1> 기계와 작업자의 작업 시간 분류

작업자가 동종의 기계를 담당하는 경우에 작업 시간은 (1) 자재 물림 시간이나, 가공품을 빼내는 시간과 같이 작업자와 기계 모두가 어울려 작업을 하는 시간(a), (2) 검사 또는 이동과 같은 작업자만의 작업 시간(b), (3) 기계만의 가공 시간(t)으로 분류할 수 있으며, 작업자가 담당할 수 있는 이론적 기계 대수는

$$n' = \text{개당 기계 시간} / \text{개당 작업자 시간}$$

$$= (a+t) / (a+b)$$

로 표현된다[1,2,4]. n'이 정수이면 작업자가 담당하는 최적 기계 대수로 되며, 이 경우에는 작업자와 기계 모두에서 유휴시간은 발생하지 않는다. n'이 정수가 아닌 경우에는 기계 대수는 정수이어야 하므로 n대와 (n+1) 대의 단위당 비용을 고려하여 비교하여야 한다.

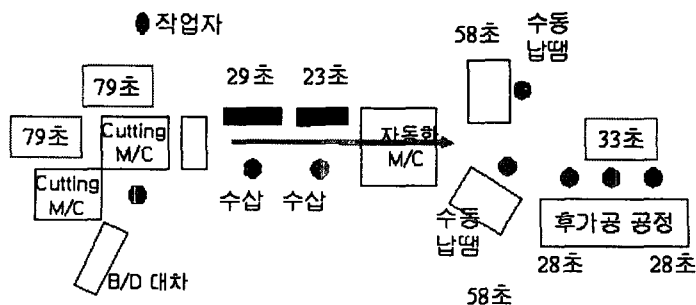
본 연구에선 man-machine chart를 이용하여 전자 제품 제조 라인을 분석하여 효율을 개선한 사례를 제공하여 유사 공정의 조립라인에 대한 생산성 향상에 기여하고자 한다.

### 3. PCB 조립라인의 개선 사례

<표 1>과 <그림 2>는 한 전자 회사의 대표적인 작업 중의 하나인 PCB 조립 컨베이어 라인에 대한 요약이다.

<표 1> 조립 공정 요약 표

작업이름	처리 시간	작업 내용	작업시간 (개당)
1.자르기	79초/1대	작업자 1명이 기계2대 담당	39.5초
2.수삽	29초	작업자 1명	29초
3.수삽	23초	작업자 1명	23초
4.수동 납땜	58초/1명	작업자 2명	29초
5.가공	28초	작업자 1명	28초
6.조립	33초	작업자 1명	33초
7.조립	25초	작업자 1명	25초

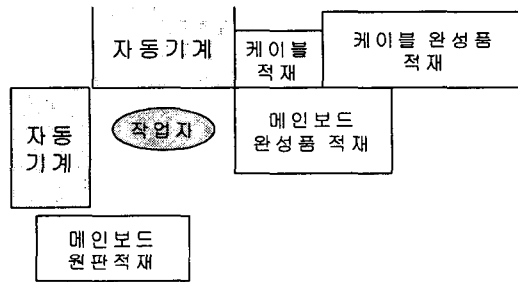


<그림 2> PCB 조립라인 공정표

자르기 작업은 현재 작업자 1명이 동종의 cutting machine을 2대 담당하여 작업하고 있으며, 1대당 79초의 처리 시간이 걸린다. 납땜 작업은 작업자 1명이 58초의 작업 시간으로 PCB 기판 1개를 처리하며 2사람의 작업자가 병행하여 작업한다. 다른 작업들은 각각 작업자 1명이 담당하며 개당 처리되는 작업 시간을 비교하면 자르기 작업이 애로 작업이며 주기 시간은 39.5초가 된다.

라인 전체의 주기 시간을 줄이는 것은 공정 관리자들의 최대 목표이다. 자르기 작업의 주기 시간을 줄이면 전체 공정의 주기 시간은 줄일 수 있다.

애로 작업인 자르기 작업은 <그림 3>과 같이 작업자 1명이 2대의 자동 자르기 기계를 다루는 배치로 되어 있으며, 작업을 분석한 결과 작업자가 자르기 기계 1대를 담당할 때(<그림 4>)와 2대를 담당할 때(<그림 5>)의 man-machine chart를 얻었다.



<그림 3> 자르기 작업의 작업 배치도

	작업자	기계
9	칩 분리	자동 가공
22	케이블적재	
79	유희	

단위: 초

<그림 4> 기계를 1대 담당

	작업자	기계1	기계2
9	칩 분리	자동 가공	자동 가공
22	케이블적재		
31	칩 분리	자동 가공	자동 가공
44	케이블적재		
79	유희		

단위: 초

<그림 5> 기계를 2대 담당

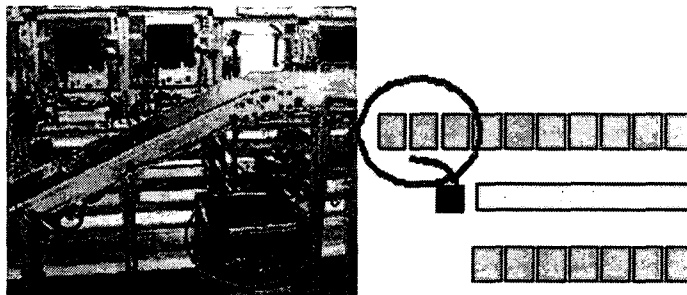
자르기 작업의 작업자가 담당할 수 있는 이론적 기계 대수는  $3.59(=79/22)$ 가 된다.

자르기 작업의 작업자가 담당할 수 있는 이론적 기계 대수는  $3.59\text{대}(=79/22)$ 가 된다. 작업자는 현재 2대의 자르기 기계를 담당하고 있으나, 3대의 기계를 담당하여도 유휴시간이 발생하므로 문제가 발생하지 않는다. 작업자에게 자르기 기계 1대를 더 추가하여 3대를 담당하면 자르기 작업은 주기가  $26.3\text{초}(=79/3)$ 로 되어 애로 작업에서 벗어난다. 즉, 자르기 작업자가 3대의 기계를 담당함으로써 전체 공정의 주기 시간은 39.5초에서 33초로 줄어드는 것이다.

이와 같이 man-machine chart를 이용하여 주기 시간이 39.5초에서 33초로 감소됨으로써 전체 라인의 주기 시간을 단축할 수 있다. 작업자는 기계를 3대 담당하여도 66초를 작업하는 반면 13초를 유휴시간으로 갖고 작업하게 된다.

#### 4. 검사 공정의 개선 사례

<그림 6>은 한 전자 회사의 검사 공정에 대한 배치도로 처음에는 검사 공정의 중앙에 있는 콘베이어를 좌우로 검사 기계가 14대가 배치되어 있었다. 그러나, 생산 주기를 줄이기 위하여 위쪽 라인에 검사 기계를 3대 증설함으로써 검사기판을 콘베이어에서 작업자가 가져오기 어려워짐에 따라 따로 기판을 담아두는 부품 상자를 콘베이어 라인 아래쪽에 놓고 작업을 하게 되었다.

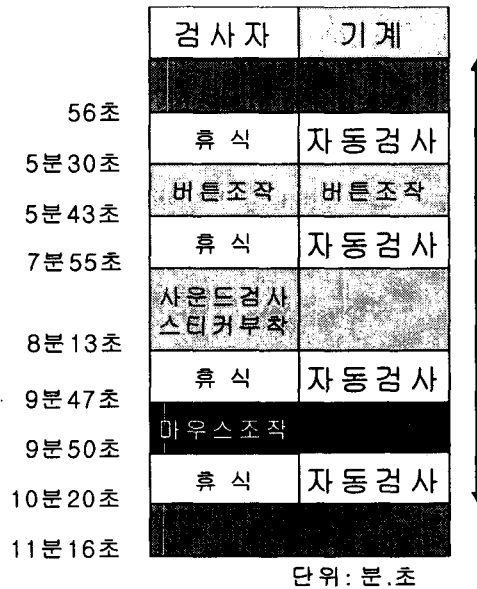


<그림 6> 검사 공정의 배치도

작업 분석 결과 각각의 검사 작업자들은 <그림 7>과 같은 내용으로 검사 작업을 하고 있는 것으로 나타났다. 본 연구팀이 작업장을 분석한 결과 두 가지의 문제점을 찾을 수 있었는데, 첫 번째는 검사 작업자들은 검사기 3대를 평균적으로 담당하며 작업을 하고 있으나, 작업자끼리 영키는 경우가 많았으며, 둘째는 왼쪽 위쪽의 추가된 검사기 3대를 담당하고 있는 작업자는 검사기판을 잡기 불편한 위치에서 반복하여 허리를 굽히고 가져오는 행동을 반복하였다. 현재 검사 공정은 작업자와 검사 기계가 어울려 작업

을 하고 있으나 전체적으로는 다른 공정의 라인은 33초정도의 주기 시간을 유지하고 있으나, 검사 공정에서는 개당 검사 시간이 33초를 넘어 애로공정으로 인식되고 있으나 뚜렷한 개선안을 찾지 못하고 있는 상황이었다.

<그림 7>의 man-machine chart를 보면 작업자는 계속하여 1대의 검사 기계를 모니터링하는 것이 아니라 자동 검사들 사이사이에 다른 검사 기계를 담당하게 되어 있다.



<그림 7> 검사 작업자의 작업 내용

본 연구팀은 작업자에게 맞는 효율적인 배치와 작업자당 적정 검사 기계 대수를 담당하는 문제로 개선을 시도하였다.

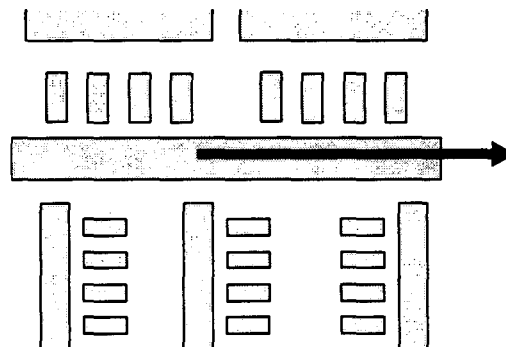


그림 8. 개선된 검사공정 배치안

전체적으로는 기관 하나를 검사하는데 검사 기계는 총 10분 20초(620초)가 걸리며, 작업자는 1분 30초(90초)를 작업하게 된다. 즉 검사 작업의 작업자가 담당할 수 있는 이론적 검사 기계 대수는 6.8대( $=620/90$ )가 된다. 그러나 여유 시간을 고려하면 대략 작업자는 4대 정도는 담당할 수 있다.

검사 기계 대수를 20대 배치하면 개당 검사 주기 시간을 33초 이내( $620/20=31$ 초)로 줄일 수 있으므로 콘베이어 라인을 중심으로 20대를 어떻게 작업자에게 할당하여 배치하는 가를 해결하기 위하여 <그림 8>과 같이 작업자당 검사 기계 4대씩을 배정하였다.

<그림 6>의 배치에서 <그림 8>의 배치로 개선함으로써 다음과 같은 개선 효과를 얻을 수 있었다. 첫째 작업자들끼리 엉킴 현상이 개선되고 작업자의 작업 위치가 확보됨으로써 보다 편하고 효율적으로 작업을 할수 있도록 개선되어 피로감을 줄일 수 있었다. 둘째 증설된 작업자가 허리를 굽혀 작업하던 작업이 개선되어 모두 편안한 자세에서 작업을 할 수 있게 되었다. 세 번째는 17대의 검사 기계 대수를 5명이 담당하면서도 엉킴 현상 때문에 작업자가 부족하다는 호소가 많았으나, 기계 대수를 20대로 늘리면서도 작업자 5명으로 기계 모두 담당하였을 뿐만 아니라 작업자들의 불편함과 일손이 부족하다는 불평도 줄어들게 되었고, 기계 대수를 늘림으로서 개당 주기 시간도 31초로 줄어드는 효과를 가져오게 되었다.

#### 4. 결론

대량 생산을 위한 라인 생산 방식에서 애로 작업에 해당하는 작업의 작업 시간을 줄이기 위한 노력은 생산성 향상을 위하여 필수적이라고 할 수 있다. 특히, 애로 작업은 작업자의 작업 시간이 오래 걸리는 작업이나 작업자가 자동기계를 여러 대 담당하는 경우에 많이 존재한다. 본 연구에서는 전자업종의 조립라인에서 man-machine chart를 이용하여 생산성을 향상시킨 개선 사례를 나타내었다.

man-machine chart를 이용하면 작업자와 기계가 어울려 작업하는 내용을 체계적으로 분석할 수 있으며, 이를 바탕으로 작업자가 담당할 수 있는 이론적인 기계대수를 검토할 수 있다. 본 연구에서는 전자업종의 PCB 조립공정과 검사공정을 대상으로 man-machine chart를 이용하여 분석하여, 효율적으로 담당할 수 있는 기계대수를 제공함으로써 주기시간을 줄일 수 있었으며, 작업자가 담당할 수 있는 바람직한 기계대수를 이용하여 효율적인 배치를 제공함으로써 작업자에게 편안한 작업이 되도록 개선할 수 있었다.

본 연구에서 개선한 사례는 전자업종에서 매우 다양하게 나타날 수 있는 사례로써, 라인의 생산성을 올리는데 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 여겨진다.

## 5. 참 고 문 헌

- [1] 정병용, 작업분석 및 관리, 한성대학교출판부,2003
- [2] 황학, 작업관리, 영지문화사, 1999
- [3] Konz, S. and Johnson, S., *Work Design: Industrial Ergonomics(5th ed.)*, Holcomb Hathaway, Publishers, 2000.
- [4] Niebel, B. and Freivalds, A. *Methods, Standards and Work Design*, 10th ed., 380-407. New York: McGraw-Hill, 1999.

## 저 자 소 개

정 병 용 : 현재 한성대학교 산업공학과 교수로 재직중.  
고려대학교 산업공학과 학사, 한국과학기술원 산업공학과 석사, 박사.  
관심분야는 인간공학적 진단 및 개선 응용, 안전관리.