

중소기업 컨베이어 조립 라인의 생산성 향상 개선 사례

정대권 · 윤원영[†]

부산대학교 산업공학과

A Case Study on Productivity Improvement for Conveyor Assembly Production Line in Medium and Small-Sized Manufacturing Factories

Dae Kwon Chung · Won Young Yun

Department of Industrial Engineering, Pusan National University

This paper deals with a case study about productivity improvement in medium and small-sized manufacturing factories. It is popular to improve the productivity of lines by shortening the production cycles and assigning multi jobs to workers. We analyze the production lines and improve the productivity in the case study through multi-functional workers and shortened production lines. Based on the case study, we propose some guidelines to improve the productivity of production lines.

Keywords: Productivity improvement, Conveyor assembly line, Multi functional workers, Line balancing

1. 서론

소 품종 대량 생산 체제에 적합한 생산 방식인 컨베이어를 이용한 조립 생산 라인은 많은 기업에서 채택하고 있지만 작업 편성의 낭비, 생산의 유연성 결여 등의 문제점을 노출하여 왔으며 이러한 문제들을 개선하고 생산성을 향상하기 위해 주로 대기업의 생산 체계를 중심으로 조립 라인에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 조립 라인에 대한 연구 유형으로는 생산 라인의 형태에 따라 컨베이어 생산 방식을 포함한 직렬 조립 라인의 균형 효율(Line Balancing) 및 생산성 향상에 대한 연구와 U자 조립 라인 및 셀(Cell) 형 조립 라인에 대한 연구로 나눌 수 있다. 먼저 컨베이어 및 직렬 조립 라인에 관련된 연구로는, Jo *et al.*(1993)는 제조 현장의 여러 가지 제약 조건 가운데 요소 작업의 결합 기준과 작업자의 변동성을 고려하여 생산량의 변화 및 작업자의 변동에 따른 공정 배치를 가능하게 하는 라인 균형 기법을 제안하였다. Lee *et al.*(1998)는 불필요한 공정의 제거 및 통합을 통해 라인 길이를 줄이면서 물류 흐름을 단축

시키고 사이클 타임 최소화를 실시한 연구를 수행하였으며, Moon *et al.*(2004)은 작업 시간과 육체적인 작업 부하를 동시에 고려한 라인 균형 모형을 제시하였다. Nils *et al.*(2007)는 다양한 조립 라인의 균형(ALB, Assembly Line Balancing) 문제를 체계적으로 분류하였으며, Yun(2008)은 조립 라인에서 실제의 생산 현장의 상황, 즉 기계의 크기, 기계간 배치 간격, 작업자의 기계 간 이동 거리, 이동 속도, 작업 위치 등을 고려하여 생산량의 증대와 작업자의 효율을 높일 수 있는 3D 모델링 기법을 연구하였다. 그리고 Koo(2009)는 작업자가 할당된 작업만을 반복적으로 수행하는 것이 아니라 시스템의 상태에 따라 작업량을 자율적으로 조절하여 조립 작업을 수행하는 라인 운영 방식을 도입함으로써 조립 라인의 생산성을 향상시키는 기법을 개발하였다. 또한 Choi *et al.*(2011)는 먼저 현장의 상황을 모델링한 다음 이를 바탕으로 기존 조립 라인의 개선 방안 및 설비 추가 도입에 따른 경제성 분석과 기업의 유연성을 높일 수 있는 방안을 연구하였다. Jo *et al.*(2012)는 양면 조립 라인의 균형 효율과 투입 순서를 결정하는 알고리즘을 개발하였고,

[†] 연락저자 : 윤원영 교수, 609-735 부산광역시 금정구 부산대학교 63번길 2 부산대학교 산업공학과, Tel : 051-510-2421, Fax : 051-512-7603, E-mail : wonyun@pusan.ac.kr

2014년 9월 17일 접수; 2014년 11월 12일 1차 수정본 접수; 2014년 12월 15일 2차 수정본 접수; 2014년 12월 18일 게재 확정.

Abhishek(2012)는 작업자 변동에 대응이 가능하고 목표 라인 균형 효율을 설정한 후 이것에 맞게 라인 편성을 실시하는 프로그램 개발하였다.

조립 라인의 생산성을 향상하기 위해 U자 라인 및 셀 생산 방식을 연구한 사례로는, Mok *et al.*(2001)은 단위 공정 별 자동화 가능 여부의 판단과 U자형 배치를 실현하여 이동 시간을 최소화하면서 작업자 별 조립 작업을 할당하는 연구를 실시하였으며, Gerald *et al.*(2004)는 실험적 연구를 통해 전통적인 직렬 조립 라인보다 U자 라인이 노동 생산성을 향상시킨다는 사례를 발표하였다. 그리고 Yoon *et al.*(2004)은 컨베이어 방식을 유지하면서도 다 공정 작업을 도입하여 셀 생산 방식을 채택하는 경우 기존의 생산성을 개선할 수 있다고 주장하였다. 또한 Shwetank *et al.*(2013)는 직렬 조립 라인을 U자형 조립 라인으로 변경하는 경우 생산성을 향상하기 위한 경험적 접근 방법을 제시하였으며, Yang *et al.*(2014)은 셀 작업에서 총 처리 시간과 총 작업 시간을 최적화하는 모델을 개발하였다.

위의 연구들은 자동차나 전기 전자 제품들에 대한 조립 라인의 설계나 배치의 효율성을 향상하거나 편성 낭비를 줄임으로써 라인 균형 효율을 개선하고 생산성을 향상시키는 방향에 대해 연구한 내용들로 대부분의 경우 제품의 크기가 크고 대기업이나 중견 기업에서 생산하는 생산 주기가 길며 작업량이 비교적 많은 조립 라인에 대해 다루고 있다. 일반적으로 중소기업의 컨베이어 조립 라인은 작업자의 빈번한 이직과 작업 훈련의 어려움 그리고 공정 편성의 용이성으로 인해 <Table 1>에서와 같이 조립 난이도가 낮은 소형 부품을 생산 주기(Cycle Time)를 짧게 편성하고, 작업자는 지정된 작업 위치에서 벨트(Belt) 컨베이어를 이용하여 조립하는 경우가 많다. 이러한 조립 라인에서는 생산이 안정화되고 라인 균형 효율이 일정한 수준에 도달하게 되면 제품의 구조 변경, 조립의 자동화, 모듈화를 통한 조립 단순화, 조립 도구의 개발 등의 변화가 없이는 더 이상 생산성 개선이 어려운 단계에 도달하게 된다. 이에 본 연구에서는 생산 주기가 짧게 편성되어 작업자의 작업량이 적고 이로 인해 조립 라인의 길이가 길어지는 중소기업의 조립 라인을 대상으로 작업자에게 다 기능 작업 훈련 후 다 공정 작업을 통해 조립 라인의 수를 늘리고 조립 라인의 길이를 줄여 생

산성 개선을 실시한 사례를 보여주며, 이후 유사한 개선 활동에 참고할 수 있도록 개선 활동의 수행 절차를 가이드라인으로 제시하고자 한다.

2. A중소기업 조립 라인의 생산성 개선 사례

2.1 개선 활동 배경 및 수행 절차

A사는 휴대폰 부품인 외곽 케이스를 사출 공정과 코팅 공정을 거쳐 생산한 다음 여러 부품을 컨베이어를 이용하여 조립한다. A사에서 생산하는 제품은 생산 주기가 짧고 특별한 조립 도구를 사용하지 않는 조립 제품이 대부분으로 생산 제품의 품목이 다양하여 품목의 교체가 빈번히 일어나고 있었으며 조립 라인은 초기 생산을 시작한 이후 동작 개선, 작업 방법 개선 등 많은 개선 활동을 실시하여 안정된 생산 활동이 유지되고 있었다. 그러나 제품의 판매 가격 하락, 임금 상승 등 원가 구조의 악화로 인해 생산성 향상을 통한 경쟁력 강화가 필요한 실정이었으며 제품의 구조 변경을 통한 조립 작업의 단순화, 조립 자동화를 통한 생산성 향상 등 근본적인 개선 활동 없이는 생산성의 향상을 기대하기 어려운 상황이었다. 조립 라인의 개선을 위해 먼저 작업 공정 단위로 작업자의 동작을 세밀하게 분석한 결과 실제로 조립 작업에 소요되는 시간외에 제품의 취급이나 대기 등에 많은 시간들이 낭비가 되고 있는 것으로 파악되었으며, 이렇게 낭비되고 있는 시간들을 줄이기 위해 작업자에게 다 기능 훈련을 실시하여 다 공정을 담당하게 함으로써 조립 라인의 길이를 줄이면서 생산 라인의 수를 증가시켜 생산성을 향상시키기로 하였다. 개선 활동을 시작하기에 앞서 다음과 같은 가설을 설정하였으며 이를 바탕으로 개선 활동을 추진하였다. 가설 1) 두 사람이 수행하던 작업을 한 사람이 수행하게 되면 작업 시간이 늘어날 수 있으나, 이는 작업자의 다 기능 훈련을 통해 극복할 수 있다. 가설 2) 공정 통합, 동작 개선 등과 같은 개선 활동을 통해 낭비되는 시간을 줄임으로써 공정 소요 시간을 단축할 수 있다. 가설 3) 한 사람이 두 공정을 담당하면 조립 오류, 작업 지연, 품질 불량 등으로

Table 1. Characteristics of the conveyor assembly lines for large and medium, small-sized manufacturing factories

Items	Large factories	Medium and small-sized factories
Size of conveyor	Large	Middle, Small
Type of conveyor	Slat, Pallet	Belt, Roller
Location of workers	Changeable, Fixed	Fixed
Size of product	Big	Middle, Small
Major products	Automobile, Electric appliances	Small product, Parts
Type of assembly line	Machine+workers	Workers
Difficulty of assembly	High	Low
Cycle time	Long	Short
Line installation cost	High	Low

인해 손실이 발생할 수 있지만, 공정 통합으로 인한 생산성 향상 효과가 더 크다. 가설 4) 통합 작업 실시로 인한 작업자의 불만, 작업 환경 등과 같은 문제는 해결 가능하다. 가설 5) 신규 라인 증설 및 검사 설비 증가를 위해 필요한 투자비용 보다는 생산성 향상으로 인한 효과가 더 크다.

본 연구에서 수행했던 조립 라인의 개선 활동은 <Figure 1>과 같이 총 5단계로 나누어 실행하였으며, 1단계에서는 개선 활동 대상 라인을 선정하고 활동 조직을 구성하였고 그 다음 2단계에서는 각 생산 공정을 분석하고 제품의 단위당 조립 비용을 산출하고, 이를 바탕으로 3단계에서 개선 활동의 목표를 설정하였다. 4단계에서는 목표를 달성하기 위한 세부 실행 계획을 수립하고 마지막으로 5단계에서는 각 항목별로 개선 활동을 실행하고 개선 효과를 분석하였다.

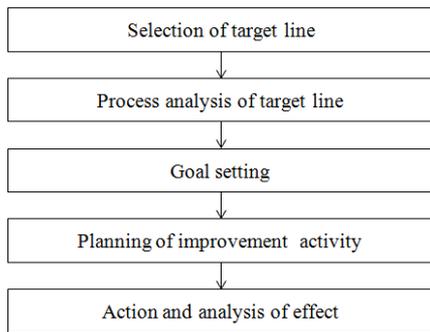


Figure 1. Improvement procedure of the conveyor assembly production line

2.2 개선 대상 라인 분석 및 개선 목표 수립

A사의 개선 대상 조립 라인의 작업자 및 공정의 배치를 분

석해 본 결과 <Figure 2>와 같이 컨베이어는 제품을 이동시키는 역할을 수행하며 작업자들은 컨베이어를 중심으로 지그재그 형태로 마주 본 형태로 배치되고 부품이나 치·공구는 작업자가 사용하기 쉬운 위치에 배치되어 있었다. 작업자는 컨베이어 위를 흐르는 제품을 작업자 앞의 조립 위치까지 가져와서 조립 행위를 한 다음 다시 컨베이어에 올려놓는 행위를 반복하고 있었다. 조립 라인에서의 작업자의 동작은 ① 조립 작업을 하기 위해 컨베이어에서 부품을 잡아서 보조 작업대에 놓고 조립 대상 부품을 가져오는 동작(Gripping), ② 조립 대상 부품을 서로 조립(Assembly) 및 검사(Inspection)하는 동작, ③ 조립된 제품을 컨베이어에 놓는 동작(Unloading)으로 구성되어 있다(Andreassen et al., 1988).

제품의 형태에 변화가 일어나는 형태의 효용이 발생하는 순간을 부가 가치가 있는 작업이라 볼 때 A사의 조립 라인에서는 부가 가치가 없는 동작인 잡고, 놓는 동작에 많은 시간이 소요되고 있으며, 이는 특정 공정에만 해당되는 사항이 아니라 모든 공정에서 반복적으로 일어남을 알 수 있었다. 각 공정을 미세 동작 단위로 분석해 보면 <Figure 3>과 같이 나타낼 수 있으며 각 공정 별 미세 동작 시간은 <Table 2>와 같다.

<Figure 3>과 <Table 2>를 바탕으로 비부가 가치 동작(NVT, Non Valuable Time)을 손실(Loss)에 포함시킬 경우 편성 손실이 더 증가하게 됨을 알 수 있다.

1개월 간 개선 대상 라인의 생산성을 분석해 본 결과 대표 생산 품목의 단위 시간당 평균 생산 수량은 234개, 작업자 1인당 단위 시간당 평균 생산 수는 11.7개, 라인 편성 효율은 85%였다. <Figure 3>에서 외형상 편성 Loss는 15% 이지만 비부가 가치 동작 시간(①과 ③)을 손실이라고 분류하면 총 손실은 55%였으며 부가 가치 동작 시간(VT, Valuable Time)은 45% 수준이었다. 그리고 직접 조립 작업 인원은 20명, 컨베이어의 길

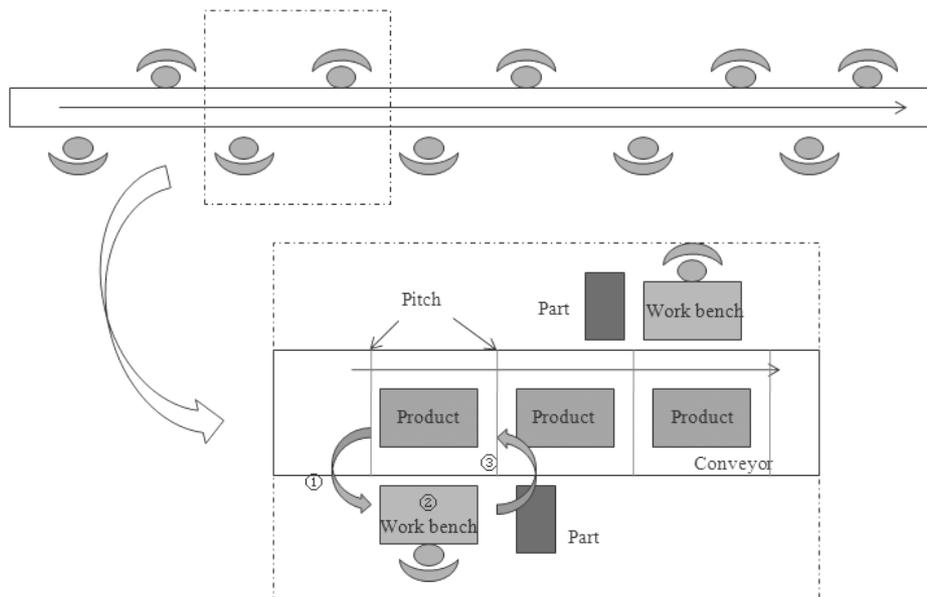


Figure 2. Layout of the conveyor assembly line

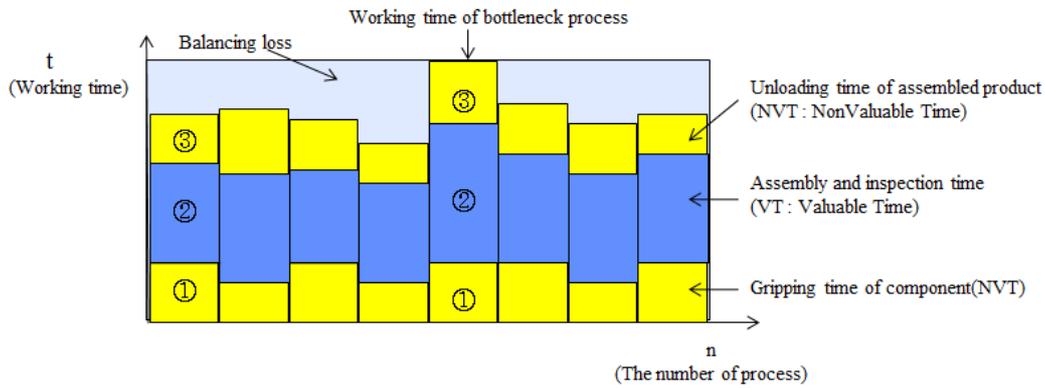


Figure 3. Analysis result of the line balance based on the micro motion

Table 2. Times of the micro motions in the assembly production line

(time unit : sec.)

Labor		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Action												
Bringing a product		2.1	2.4	2.0	2.6	2.2	2.3	2.6	2.5	2.8	2.5	
Bringing a part	Part No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Working time	1.8	2.2	1.7	2.4	2.0	1.9	2.4	2.3	2.7	2.2	
Assembly and inspection		5.1	5.8	5.3	5.7	5.3	5.9	4.9	5.3	6.1	5.2	
Unloading an assembly on conveyor		1.7	1.9	1.4	1.9	1.7	1.7	2.1	2.1	2.4	1.9	
Total		10.7	12.3	10.4	12.6	11.2	11.8	12.0	12.2	14.0	11.8	
Labor		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
Action												
Bringing a product		2.9	2.5	2.3	2.2	2.6	2.8	2.3	2.6	2.4	2.3	48.9
Bringing a part	Part No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	-
	Working time	2.7	2.2	2.0	2.0	2.4	2.6	2.0	2.2	2.1	2.1	43.9
Assembly and inspection		5.4	5.1	5.6	5.3	5.3	5.2	5.1	5.1	5.5	4.9	107.1
Unloading an assembly on conveyor		2.1	2.1	1.9	1.7	2.0	2.1	1.7	2.0	1.8	1.9	38.1
Total		13.1	11.9	11.8	11.2	12.3	12.7	11.1	11.9	11.8	11.2	238.0

이는 20m, 제품 1단위당 조립 비용은 1,282원 이었다. 조립 비용을 분석할 때에는 생산 설비의 구입 금액과 잔존 가치가 반영된 단위 시간당 기계 경비율, 작업자의 임금과 상여금, 퇴직금 등이 반영된 시간당 임금을 분석하여 산출하였다. 여기서 단위 시간당 기계 경비율은 컨베이어 조립 생산을 위해 투자한 총 비용을 감가상각을 고려하여 한 시간에 들어가는 비용으로 환산한 비용과 설비의 운용을 위해 들어가는 전기, 물, 가스, 공기 그리고 각종 소모품 등이 단위 시간에 들어가는 비용으로 환산하여 이를 전부 합한 비용을 말한다. 단위 시간당 임금은 작업자 한 사람에게 들어가는 총 비용을 단위 시간에 들어가는 비용으로 환산한 비용으로써 임금뿐만 아니라 퇴직금, 보험료, 의복비, 교통비, 식비, 복리 후생비 등 작업자에게 들어가는 모든 비용이 포함된다. 일반적으로 기업에서는 연간 단위로 생산 라인별, 설비별로 단위 시간당 기계 경비율과 임금을 산출하여 생산 원가 분석, 영업 활동 등에 활용하고 있다. 개

선 목표를 설정할 때는 비부가 가치 동작 시간과 편성 손실을 50% 이상 개선하고, 제품의 판매 가격 인하와 내부 원가 상승을 극복하는 수준으로 결정하기로 하고 인당 단위 시간당 생산 수를 향상시켜 제품 단위당 조립 비용을 30% 개선하는 것으로 목표를 설정 하였다.

2.3 개선 활동의 방향 설정 및 생산성 향상 근거

A사의 조립 라인의 생산성 향상을 위해 실행한 내용은 작업의 전/후 공정을 고려하여 요소 작업의 재분배 및 공정을 재배치하는 기법을 이용하여 개선 활동을 실시하였다. 또한 동작 개선의 원칙을 활용하여 개별 공정의 동작 개선, 작업 개선을 실시하였으며, 병목 공정에 대해서는 집중 개선을 실시하였다. <Figure 4>(L)은 이러한 개선 활동을 실시한 후의 라인 균형으로 여기서 비부가 가치 동작 시간과 편성 손실을 줄이기 위해

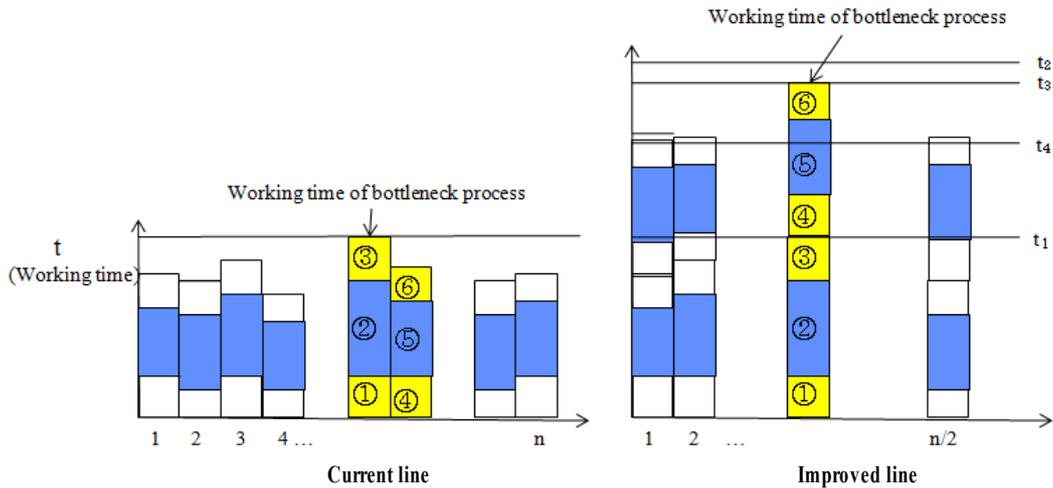


Figure 4. Comparison of line balancing of the current assembly line with the improved assembly line

작업자에게 다 기능 훈련을 실시하여 공정을 통합하는 방향으로 개선을 추진하기로 하였다. 한 사람의 작업자가 <Figure 4> (R)과 같이 편성된 작업 공정에서 작업의 우선순위와 작업 시간을 고려하여 여러 공정의 작업을 수행하는 경우에는 반복적으로 발생하는 비부가 가치 동작 시간을 줄이고 병목 공정의 작업 시간도 줄일 수 있다. 이러한 형태로 개선을 추진하게 되면 생산 주기(Cycle Time)가 늘어나게 되는데 이는 생산 라인의 수를 늘려서 운영하면 된다. 생산 라인 증가에 따른 투자 여부는 설비의 기계 경비율을 반영하는 제품 단위당 조립 비용을 검토함으로써 추진할 수 있다. 한 작업자가 다 공정을 담당하는 방법에는 여러 방법이 있지만 본 사례 연구에서는 작업자의 다 공정 훈련과 공정 편성이 비교적 쉽고 생산 활동의 지장을 최소로 하면서 단계적으로 개선 활동을 추진할 수 있도록 작업자가 전후 2개의 공정을 담당하는 방법으로 순차적으로 실시하였다. 이와 같은 방법은 편성 효율을 최적화하는 기법은 아니며 생산성을 향상하기 위한 경험적인 접근 방법(Heuristic Approach)이라 할 수 있다. 공정 통합 개선을 실시한 이후에는 제거, 조합, 재배치, 단순화 등의 편성 효율 개선 활동을 실시하였고 개선 실행 단계에서는 작업 라인의 형태를 기존의 컨베이어를 이용한 조립 라인과 U자 라인을 비교 검토하면서 추진하였다. 작업자에게 전후 2개의 공정을 담당하게 하면 <Figure 4>(R)과 같이 라인 편성을 할 수 있으며 개선 전 생산 주기(t_1)의 2배의 시간(t_2)으로 작업하면 동일한 효과가 나오지만 병목 공정 작업 시간(t_3)의 감소, 공정 개선, 작업 속도도 향상, 비부가 가치 동작의 감소를 통해 t_4 시간까지 개선할 수 있다. 생산성이 향상될 수 있는 근거와 생산성 향상 정도는 다음과 같다.

(1) t_2 시간으로 생산

작업자가 전후 2개의 공정을 담당하도록 1번 공정과 2번 공정을 통합하고, 3번 공정은 4번 공정과 통합하는 방법으로 전 공정의 수를 1/2로 줄이고 공정을 재편성하면 <Figure 4>(R)과 같이 나타낼 수 있다. 이것은 두 사람이 수행하던 작업을 다 기

능 훈련을 통해 한 사람이 수행해도 작업 시간이 증가하지 않는다는 가설을 만족할 때이다. 개선 전의 생산 주기(t_1)의 2배의 시간(t_2)으로 생산할 경우에는 이론적으로 개선 전의 생산성과 동일한 효과가 나타난다. 다 공정 작업을 실시하면 초기에는 작업의 미숙련, 작업 공구의 사용, 작업의 난이도 등에 따라 작업 시간이 증가될 수 있으므로 다 기능 훈련 단계에서 충분히 숙련 작업을 실시한 후 실시하는 것이 바람직하며 개선 전후의 작업 시간과 생산성을 비교 분석할 필요가 있다.

(2) t_3 시간으로 생산

개선 전의 라인 편성에서 병목 공정과 통합된 공정이 개선 후의 라인 편성에서 병목 공정이 될 수도 있으며 다른 공정이 병목 공정으로 될 수도 있다. 개선 전의 작업 방법과 동일한 방법으로 한 사람의 작업자가 작업을 수행해도 작업 시간이 늘어나지 않으면 개선 후의 병목 공정의 작업 시간(t_3)은 개선 전의 병목 공정 작업 시간(t_1)의 2배인 t_2 보다는 작다. 따라서 병목 공정 소요 시간이 줄어든 차이만큼 생산성이 향상될 수 있으며 생산성 향상 정도는 $[(3600/t_3) \times 2 - (3600/t_1)] \times 100\%$ 로 계산할 수 있다. 여기서 개선 후 생산성은 생산 라인을 2개로 운영하기 때문에 2를 곱하였다.

(3) t_4 시간으로 생산

t_4 시간으로 생산이 가능한 이유는 작업자의 작업 동작을 미세 분석함으로써 알 수 있다. 개선 전과 개선 후의 작업을 보면 다음과 같다.

1) 개선 전 :

- ① 컨베이어의 제품을 잡고 작업 위치에 놓음+② 부품 A를 조립함+③ 조립된 제품을 컨베이어에 놓음

2) 개선 후 :

- ① 컨베이어의 제품을 잡고 작업 위치에 놓음+② 부품 A를

조립함+③ 부품 B를 조립함+④ 조립된 제품을 컨베이어에 놓음

개선 후의 동작에서는 <Figure 5>와 같이 반복적으로 발생되는 비부가 가치 동작 시간인 제품을 잡고 놓는 동작을 줄임으로써 작업 시간을 단축하여 라인 균형 효율을 개선할 수 있다 (Beverly, 2012). 이 때 개선 전후의 생산성을 비교해 보면 중복 동작 제거로 인한 작업 시간의 차이(t_3-t_4)만큼 생산성이 향상될 수 있음을 알 수 있으며 개선 후의 단위 시간당 생산량은 $(3600/t_4) \times 2$ 로 산출할 수 있다.

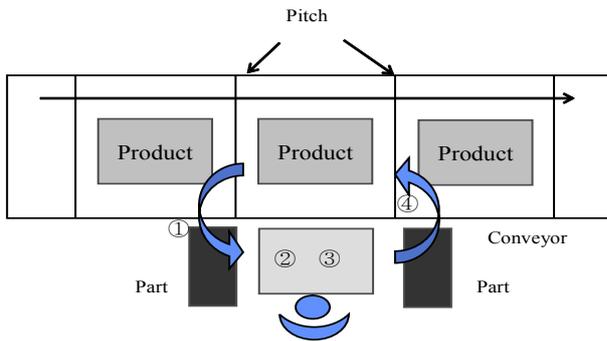


Figure 5. Motions of a worker in the improved assembly line

2.4 개선 실행 내용 및 효과

개선 활동을 실행하기 위해서는 생산성 향상 가능성 검토뿐 아니라 작업자의 다 기능 훈련, 작업의 형태, 생산 제품의 품목, 생산량, 조립 라인의 형상, 부품의 공급 방법, 개선에 따른 투자비용, 생산 공간, 조립 및 검사 장치, 관리 방법 등 많은 항목을 검토하여야 한다. 이번 사례 연구에서는 이와 같은 항목을 검토하면서 시범 라인을 선정하고 개선 활동을 단계별로 추진하면서 개선 효과를 확인한 후 확대 실시하는 방법으로 추진하였다.

(1) 1단계 개선 내용

시범적으로 하나의 조립 라인에 대해 개선 활동을 실시하여

성공적으로 성과가 나타날 경우 다른 개선 라인으로 확대 실시하기로 하고 시범 개선 라인을 선정하였다. 시범 라인은 생산량이 많으며 공정 품질이 안정되어 있고 부품의 공급 및 납기에 문제가 없는 제품을 생산하는 라인으로 선정하였으며 작업자의 태도, 해당 감독자의 개선 의지 등도 참고하였다. 또한 새로운 개선 활동을 실시한다는 사실을 그 목표와 함께 다른 사원들에게도 공유하였다.

시범 라인 선정 후 <Figure 6>(L)과 같이 대상 라인의 작업자에게 다기능 훈련을 실시하고 작업 공정을 개선하였으며, 작업자 별로 공정 별 작업 숙련 정도를 분석하고 숙련 공정의 목표를 정한 후 그 진행 상황을 알 수 있도록 하였다. 다기능 훈련을 마친 후 작업자 별로 2개 공정을 작업 할 수 있는 단계가 되었을 때 한 작업자에게 2개의 공정을 작업하도록 하여 기존에 20명이 조립하던 라인에 10명을 배치하여 작업을 수행하도록 하였다. 이때 기존의 컨베이어와 작업대 등을 그대로 사용하면서 작업을 수행하였으며 품질 불량 발생, 작업 지연, 부품 공급 문제 등 예상치 않은 문제가 발생 될 경우 바로 조치 될 수 있도록 하였다. 다음은 20m인 컨베이어를 10m 컨베이어로 개조하여 2개로 만든 후 작업 인원을 10명씩 편성하여 조립 라인을 2개로 운영하였다. 라인 증가에 따른 개선비용, 작업장의 면적 등 개선 제약 요소는 많지 않았으며 부품 공급 방식, 생산 실적 관리, 공정 품질 관리 등 관리 방식은 개선 상황에 맞게 운영하였다. 개선 실시 후 각 공정의 미세 동작 시간을 분석해 본 결과는 <Table 3>과 같으며, 1개월 동안의 생산 실적을 분석해 본 결과 단위 시간당 평균 생산 수량은 135개로써 생산성이 15% 상승하였다. 컨베이어 개조 비용 등 조립 라인 개선에 필요한 투자비용은 단위 시간당 기계 경비율로 환산하면 크게 영향을 주지 않을 정도로 적은 수준이었다. 시간당 임용(Labor Cost)은 10,000원, 개선 전의 시간당 기계 경비율(Machine Cost)은 100,000원, 개선 후의 시간당 기계 경비율은 50,000원이었다. 개선 전의 제품 단위당 조립 비용은 1,282원, 개선 후의 제품 단위당 조립 비용은 1,111원으로 산출되었다. 이는 개선 활동을 통하여 생산성을 향상한 결과 제품 단위당 조립 비용이 171원 개선되었음을 나타내고 있다. 시범 라인 개선 후 생산성 향상



Figure 6. Training board(L) of multiple processes and conveyor work(R) in the improved assembly line at the 1st step

Table 3. Times of the micro motions in the improved assembly line at the 1st step

(time unit : sec.)

Action	Labor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
		Bringing a product	2.3	2.5	2.4	2.6	2.6	2.5	2.3	2.4	2.4	2.3
Bringing a part	Part No.	1+2	3+4	5+6	7+8	9+10	11+12	12+13	15+16	17+18	19+20	-
	Working time	3.5	3.8	3.3	5.8	7.1	7.7	4.2	6.2	5.0	4.7	51.3
Assembly and inspection		13.1	13.3	13.5	11.8	13.1	11.4	12.8	12.1	12.1	11.8	125.0
Unloading an assembly on conveyor		1.9	1.8	2.1	2.0	2.2	2.0	1.7	2.0	1.8	1.9	19.4
Total		20.8	21.4	21.3	22.2	25.0	23.6	21.0	22.7	21.3	20.7	220

정도를 확인하고 관리 방법을 안정시킨 후 다른 3개의 컨베이어 조립 라인도 동일한 방법으로 <Figure 6>(R)과 같이 확대하여 개선을 실시하였다.

(2) 2단계 개선 내용

1차 개선이 실시되어 생산성 향상이 확인되고 생산, 자재, 인원, 품질 등의 관리 방법을 안정화 시킨 후 동일한 개념으로 2차 개선을 실시하였다. 다시 한 번 더 공정 개선과 작업 개선을 실시하면서 작업자에게 2개의 공정에 대해 다기능 훈련을 실시하여 조립 라인의 길이를 줄이면서 생산성을 향상시키는 목표를 세우고 추진하였다. 이때 개선 활동 추진팀과 현장 관리부서는 2차 개선의 라인 형태를 U자 라인으로 결정하여 추진하기로 하였다. U자 라인으로 개선을 실시하면 작업의 흐름을 후 공정 인수 방식(Pull System)으로 변경이 가능하며, 자재의 흐름을 개선하여 이동 시간을 줄일 수 있고, 품종 교체 시간 단축이 가능하다. 또한 작업이 일정하게 유지 되는지를 쉽게 확인할 수 있으며, 부품의 공급 시간도 단축할 수 있고, 투입 부품에 대한 결산 활동을 용이하게 추진할 수 있다(Wallace et al., 2005; Gordon, 2012). <Figure 7>(L)의 U자 라인 작업 개념도에서와 같이 생산 공정의 흐름을 U 라인 배치를 통해 부품 공급 체계를 개선하였으며, 생산 제품의 종류와 생산 계획 수량에 맞춰 부품 공급용 대차를 이용하여 운반하는 방식으로 개

선하였다. U자 라인의 크기에 맞게 대차를 제작하고 대차의 부품 적재 위치를 작업자의 부품 사용 위치와 동일하게 함으로써 품종을 교체하는 시간을 단축하였다. <Figure 7>(R)은 2차 개선 후 U자 라인에서 작업하는 모습을 보여주고 있다. 2차 개선을 실시한 후 각 작업자의 미세 동작 시간을 분석한 결과는 <Table 4>와 같으며, 1개월 동안의 생산성을 분석해 본 결과 5명으로 편성된 U자 라인의 시간당 평균 생산량은 91개로 생산성이 35% 상승되었다. U자 라인의 단위 시간 당 기계 경비율은 25,000원, 제품 단위당 조립 비용은 824원이었다. 따라서 개선전의 제품 단위당 조립 비용과 비교해 보면 458원의 개선 효과가 나타난다.

이상과 같은 1차, 2차 개선의 결과를 종합해 분석해 보면 <Table 5>와 같이 개선 전에는 20명의 작업자가 20m길이의 컨베이어 라인에서 라인 균형 효율 85%로 작업하여 작업자 1인당 단위 시간당 평균 생산 수(UPPH : Unit Per Person Hour)11.7개를 생산하던 수준에서 개선 후에는 5명으로 구성된 하나의 U라인에서 라인 균형 효율 93%로 작업하여 UPPH를 18.2개를 생산하여 개선 전 대비 56% 향상시켰다. 편성 Loss를 포함한 비부가 가치 동작 시간의 비율은 개선 전 55%에서 39% 수준으로 개선되었으며, 시간당 총 투입 비용에서 시간당 생산 수량을 나누어서 산출한 제품 단위당 조립 비용은 1,282원에서 1,111원으로 824원이 줄어들어 36% 개선되었다. 그리고 품종 교체

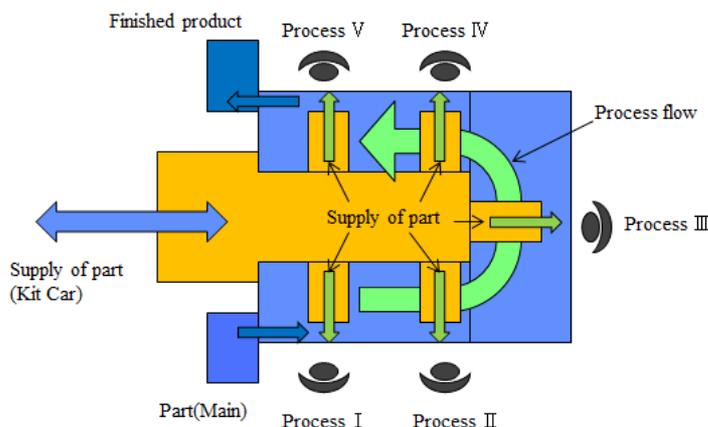


Figure 7. Concept (L) and view(R) of the U-line work

Table 4. Times of the micro motions in the improved assembly line at the 2nd step

(time unit : sec.)

Labor Action		1	2	3	4	5	Total
Bringing a product		2.1	2.0	2.2	2.1	2.1	10.5
Bringing a part	Part No.	1+2+3+4	5+6+7+8	9+10+11+12	13+14+15+16	17+18+19+20	-
	Working time	6.8	10.3	12.7	9.6	8.4	47.8
Assembly and inspection		22.2	20.5	20.3	21.1	20.9	105.0
Unloading an assembly on conveyor		1.7	1.9	1.8	1.7	1.7	8.8
Total		32.8	34.7	37.0	34.5	33.1	172.1

Table 5. Overall comparison of the current assembly line with the improved assembly line at each step

	Previous line	Improved line at the 1st Step	Improved line at the 2nd Step	Remarks
Workers per line	20	10	5	
Type of production line	20m conveyor	10m conveyor	U-line	
The number of production lines	4	8	16	
Line balance efficiency	85	88	93	
Ratio of non-value-added time	55	43	39	
Cycle time	14	25	37	
Production unit per hour(UPH)	234	135	91	Output per line
Production unit per person hour(UPPH)	11.7	13.5	18.2	56% ↑
Assembly cost per unit(won)	1,282	1,111	824	36% ↓
Setup time(min.)	20	10	5	
Improved value(million per year)			630	

시간이 20분에서 5분으로 단축되었으며 다양한 품종을 동시에 생산하는 것이 가능해져 연간 6.3억 원의 경영 성과가 창출 되었다. 위와 같은 개선 활동의 성공 배경에는 1) 명확한 활동 목표의 수립 및 공감대 형성, 2) 경영자 및 현장 관리/감독자의 개선 의지, 3) 개선 활동의 단계적 수행, 4) 작업자 다 기능 훈련의 성공적 수행, 5) 개선 활동에 따른 생산 관리, 품질 관리, 자재 관리 등 관리 기법의 동반 개선, 6) 생산성 향상에 따른 동기 부여 등이 있었다.

3. 중소기업 컨베이어 조립 라인 개선의 가이드라인

3.1 개선 활동 대상 라인 및 컨베이어 조립 작업의 문제점

조립 작업의 형태는 생산 제품의 크기나 생산량, 조립 작업의 자동화 여부, 작업자의 이동, 생산 주기, 조립 도구의 사용 등에 따라 다양하게 나눌 수 있다. 중소기업의 경우에는 작업 훈련과 공정 편성의 용이성으로 인해 생산 주기를 짧게 편성하고 다양한 제품을 컨베이어를 이용하여 조립 생산하는 경우가 많다. <Table 6>은 개선 활동 대상 조립 라인의 특징으로 작업자는 컨베이어 앞 고정 위치에서 작업을 수행하고, 조립 난

이도는 낮으며, 제품의 크기는 비교적 작다. 본 연구에서는 생산 주기가 짧은 제품을 조립한 후 다음 작업 공정까지는 컨베이어를 이용하여 이동하는 조립 라인을 대상으로 사례 연구에서와 같이 생산성 향상 활동을 실시할 때 유용하게 사용할 수 있도록 개선 활동의 추진 방법 및 절차를 가이드라인으로 제시하고자 한다. 컨베이어 조립 라인의 효율적인 작업 편성은 일정한 작업 순서에 따라 조립 작업을 실시할 때 각 작업자의 유휴 시간을 최소화 하면서 라인 편성(Line Balance)의 효율을 최대로 올리는 것이다(Riggs, 1987). 조립 생산성을 향상시키기 위하여 조립 공정의 자동화를 시도하는 경우도 있지만 이 방법은 자본 투자를 필요로 한다. 그러나 라인 편성 개선 활동의 경우 별도의 큰 재무적인 투자 없이도 일정 부분까지는 생산성을 향상할 수 있다(Cachon *et al.*, 2006).

이러한 과정을 거쳐 <Figure 8>과 같이 작업 라인이 편성되면 라인 작업의 생산성은 병목 공정의 작업 시간에 영향을 받게 되므로 공정 개선을 통한 라인 균형 효율의 개선이 중요함을 알 수 있다(Lee, 2000; Groover, 2007).

컨베이어 작업은 대량 생산을 할 수 있는 장점이 있지만 작업 편성 시 최적의 편성을 하기가 쉽지 않으며 작업자 변동이 수시로 일어나는 경우에는 대처가 어렵고 Loss가 크기 때문에

Table 6. Characteristics of the assembly lines on the case study

Product movement between processes	Conveyor
Location of workers	Fixed
Size of product	Middle, Small
Cycle time	Short
Production item	Many
Production quantity	Mass production
Line installation cost	Low cost
Difficulty of assembly	Low level

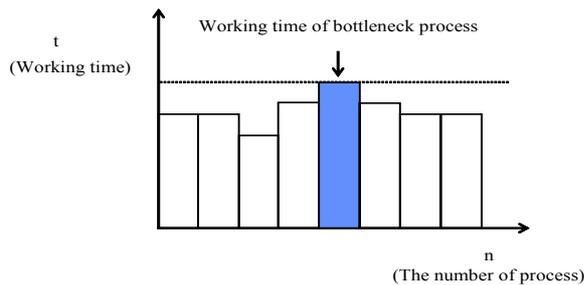


Figure 8. Example of the balanced line

다 품종 다 모델의 생산의 경우에는 많은 손실이 발생한다. 또한 일정한 수준에 도달한 생산성을 보다 더 향상시키는 것이 어렵고 라인 균형 효율을 개선하더라도 현실적으로 발생하는 문제들로 인해 편성 낭비가 발생하며 설비 문제, 자재 공급 문제, 작업자 문제 등 어느 한 문제라도 발생하면 전체의 효율이 떨어진다(Takeda, 1994).

3.2 개선 활동 추진의 판단 기준

개선 활동과 생산 활동의 진행으로 공정이 안정적으로 편성된 조립 라인의 경우에는 생산성 향상을 위해 생산의 구조를 근본적으로 바꾸는 것이 필요하다. 각 공정의 작업자에게 다 기능 훈련을 실시하여 작업량을 M개 공정의 작업량으로 편성하고, 컨베이어 길이를 1/M로 절단한 후 조립 라인을 M개로 운영하는 것이다. 이와 같은 개선 활동을 실행하기 위해서는 미세 공정 분석을 통한 생산성 향상 가능성, 작업자의 다 기능 훈련, 다 공정 작업 수행을 위한 작업의 형태, 적절한 생산 제품과 생산량, 조립 라인의 형상 및 부품의 공급 방법, 투자비용, 생산 공간, 조립 및 검사 장비, 관리 방법 등의 관련 항목을 검토하여야 한다. 개선 활동의 추진 여부는 개선으로 인한 생산성 향상 정도와 개선 활동에 투입되는 개선비용 등을 모두 고려하는 개선 전/후의 제품 단위당 조립 비용을 산출하여 비교함으로써 결정하며 다음의 절차에 따라 검토하고 판단할 수 있다.

먼저 1단계에서 개선 전 라인의 균형 효율을 분석하고 개선 활동을 실시한다. 컨베이어 조립 라인이 설치되고 공정을 배치한 후 생산성 향상 활동을 실시할 경우 일반적으로 작업의

전/후 공정을 고려하여 요소 작업을 재분배하고 공정을 재배치하는 기법을 이용하여 개선 활동을 실시한다. 이러한 개선 활동을 실시하면 조립의 자동화나 제품의 구조 변경 없이는 더 이상 라인 균형 효율을 높이기 어려운 단계에 도달하게 된다.

2단계에서는 현재의 조립 라인 생산성을 분석하며, 분석 항목으로는 투입 인원, 단위 시간당 생산성, 생산 주기, 단위 시간당 기계 경비율, 시간당 임금이 반영된 제품 단위당 조립 비용이 있다. 제품 단위당 조립 비용은 단위 시간당 총 투입 비용 / 단위 시간당 생산량으로 산출할 수 있고, 단위 시간당 총 투입 비용은 단위 시간당 기계 경비율과 단위 시간당 임금을 더하여 산출할 수 있다.

그 다음 3단계에서는 개선 후의 생산성 향상에 대한 제품 단위당 조립 비용을 같은 방식으로 산출한다. 이때 개선 활동에 들어가는 투자비용을 고려하여 개선 후의 단위 시간당 기계 경비율을 산출하며 작업자 임율의 변화도 고려한다. 이것은 컨베이어의 개조, 검사 설비의 증가 등 개선 활동에 투자되는 비용과 작업자의 임금 상승 등을 고려하기 위함이며, 이 비용이 크지 않으면 크게 영향을 주지는 않는다. 그리고 개선 후의 단위 시간당 생산량은 개선 후의 라인 균형 계획을 분석하거나 시범적으로 라인의 개선을 추진한 후 산출할 수 있다. 또한 개선을 실행한 후에는 작업자가 일정한 숙련 기간이 필요하므로 이를 고려해야 한다.

4단계에서는 개선 전의 제품 단위당 조립 비용과 개선 후의 제품 단위당 조립 비용을 비교한다. 개선 전의 제품 단위당 조립 비용이 개선 후의 제품 단위당 조립 비용보다 작으면 개선 효과가 없는 것이므로 개선 전의 생산 방식대로 생산을 계속 하면 되고, 개선 후의 제품 단위당 조립 비용이 개선 전의 제품 단위당 조립 비용보다 작으면 개선으로 인한 효과를 기대할 수 있다고 판단할 수 있으므로 개선을 추진하면 된다. 물론 제품 단위당 조립 비용의 감소 이외에도 다양한 제품의 생산 가능성, 품종 교체 시간의 단축 등 다른 정성적인 효과도 고려한다.

위와 같은 개선 활동은 1회에 한하여 추진 할 수 있는 것은 아니며 동일한 방법으로 2차, 3차로 개선을 추진 할 수 있으며, M개의 라인으로 바로 개선을 실시 할 수도 있다. 이것은 다기능 훈련의 성공 여부와 이에 따른 생산성 향상 정도, 개선비용에 따른 시간당 경비율의 변화, 작업자의 시간당 임율의 변화를 모두 고려한 제품 단위당 조립 비용의 감소 여부로써 판단할 수 있다. 개선 활동을 실시 할 때는 투자비용, 사람, 생산, 품질, 납기 등 여러 가지 제약 조건이 존재하므로 이를 극복하면서 실시해야 되기 때문에 단계별로 나누어서 추진하는 것이 바람직할 것이다.

3.3 개선 활동 추진 절차

일반적으로 제조 현장에는 여러 개의 조립 라인이 있으며, 모든 조립 라인들을 동시에 개선하여 생산성을 향상하기 위해서는 많은 제약 조건이 따른다. 예를 들어 생산에 지장을 주어

납기가 지연된다든지 컨베이어 개조에 시간과 노력이 많이 들어가거나 작업자의 다 기능 훈련에도 시간이 걸린다. 따라서 개선 활동을 효과적으로 수행하기 위한 절차는 시범라인선정, 기존라인분석, 다기능훈련 실시, 라인 작업변경, 라인변경, 개선 후 생산성분석 및 효과 파악, 동기부여 및 성과 공유의 순으로 진행되며 구체적인 내용은 다음과 같다.

순서 1) 개선 활동 시범 라인을 선정한다. 시범 라인 선정 기준으로는 생산 및 품질이 안정된 라인, 비교적 작업이 단순한 라인, 작업자들의 개선 의욕이 높은 라인, 관리자나 감독자의 리더십이 우수한 라인을 선정한다. 최고 경영자는 개선 활동을 성공적으로 수행 할 수 있도록 관련 활동을 지원하며, 적절한 동기 부여를 실시하고 현수막, 게시판 등을 이용하여 전 사원이 알 수 있도록 한다. 시범 라인의 성공이 다른 라인에도 많은 영향을 주므로 신중히 정해야 한다.

순서 2) 기존 작업을 완벽히 숙지한다. 작업 순서 및 작업 시간의 준수 여부, 중요 관리 항목 숙지 및 품질 불량, 작업 지연 발생 유무 등을 체크하고 문제가 발견되면 개선 활동을 추진한다.

순서 3) M개 공정 단위로 조를 편성하고 각각의 작업을 일 (Day) 단위로 바꾸어 가면서 교대 작업을 실시함으로써 다 기능 훈련을 실시한다. 작업자 상호간에 각자의 작업에 대해 작업 순서, 작업 방법, 중요 관리 항목, 품질 관리 항목 등을 교육한다. 교대 작업 초기에는 일시적으로 작업 지연, 품질 불량 발생 등 문제가 발생할 수 있으며 이때는 작업자 상호간의 도움 작업, 감독자의 지원을 통해 해결한다. 교대 작업을 통한 다 기능 훈련을 여러 번 실시하게 되면 다양한 조립 기술을 습득할 수 있고 다 공정 작업을 실시할 수 있게 된다. 그리고 다 공정 작업이 가능해지면 작업 편성의 유연성을 부여해 줄 수 있다 (Wallace *et al.*, 2005). 이때는 컨베이어의 길이를 줄이지 않고 기존 컨베이어에서 단지 작업자의 위치만 바꾸어서 실시한다.

순서 4) 라인 당 작업자를 1/M로 줄이고 한 작업자가 M개의 공정을 작업한다. 이때도 컨베이어는 아직 절단하지 않는다. 순서 3)에서 M개의 공정을 바꾸어가며 작업을 하여 다 기능 훈련을 실시하였기 때문에 M개 공정을 합쳐서 작업하는 것이 가능하다. 이때 작업 방법, 작업 순서, 작업 시간 개선을 통한 공정 소요 시간의 단축 활동을 실시하며, M개 공정 작업 실시로 인한 조립 작업의 오류, 휴먼 에러(Human Error), 작업 지연, 품질 불량 발생 등의 문제가 발생하면 신속하게 지원, 개선하도록 한다. 그리고 제품의 크기, 부품의 배치, 작업 도구의 사용, 작업의 정밀성, 작업량을 분석하여 입식 작업의 추진 여부도 검토한다.

순서 5) 컨베이어 라인을 개선하여 길이를 1/M로 줄이고 조립 라인을 M개로 만든다. 그리고 작업자를 M개의 라인으로 나누어 배치하고 운영한다. 이때 조립 라인의 형태는 컨베이어 라인, U자 라인 등 적절한 형태의 라인을 검토한다.

순서 6) 개선 후의 생산성을 분석하고 개선 효과를 파악한다. 생산성 향상을 통한 제품 단위당 가공비 개선, 품종 교체

시간의 단축, 품질 향상 등 정량적 항목과 다품종 소량 생산을 통한 대응력 향상, 재고 절감 등 정성적인 항목도 파악하는데 이는 개선 완료 후 일정한 시간이 경과된 후 실시한다. 그리고 생산 계획 대 실적 관리, 품질 관리, 인원 및 조직 관리, 자재 및 재고 관리 등 관리 방법도 적절하게 변경한다.

순서 7) 개선 활동이 성공적으로 완료되면 적절한 인센티브를 통해 작업자들에게 동기를 부여하고 활동 내용과 성과, 성공 요인을 공유한다. 시범 라인 추진 시 나타난 문제들의 재발 방지 대책을 수립하여 다른 생산 라인으로 확대 실시하며, 납기와 생산에 지장을 주지 않는 범위 내에서 신속하게 수행한다.

3.4 개선 효과

이상과 같은 절차에 따라 개선을 실시하면 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다. 1) 생산성을 향상할 수 있다. 개선 전의 병목 공정의 소요 시간, 즉 생산 주기에 따라 다를 수 있지만 생산 주기가 짧을수록 개선 효과는 크게 나타날 것이다. 이는 단순 통합 효과 뿐 아니라 비부가 가치 작업 배제로 인한 효과와 숙련도 향상 및 추가 개선으로 인한 효과가 더해지기 때문이다. 2) 품종 교체 시간을 단축 할 수 있고 재공품(WIP, Work In Process)의 수를 줄일 수 있다. U자 생산 라인으로 개선하는 경우에는 후공정 인수 방식(Pull System)으로 전환하여 한 작업물이 해당 공정을 떠나야만 새 작업물을 투입하는 방식인 CONWIP(Constant Work In Process)체제 구축이 가능함으로써 재공품을 일정하게 관리할 수 있다(Wallace *et al.*, 2005). 이를 통해 조립 라인이 단순해지고 길이가 짧아져 재공품이 줄어들면 생산 품종을 교체하는데 소요되는 시간을 줄일 수 있다. 3) M개 라인에서 서로 다른 제품을 생산하는 것이 가능하다. M개의 라인에서 동일한 제품을 생산 할 수도 있으며 다른 제품을 동시에 생산할 수도 있어 조립 라인의 유연성을 높일 수 있다. 4) 작업자 변동, 품질 문제, 운전 정지 등 변동성에 따른 영향을 줄일 수 있다. 개선 전에는 작업자, 품질, 설비의 문제가 발생하면 해당 라인 전체가 영향을 받아 라인의 효율성이 떨어진다. 그러나 개선을 통해 조립 라인이 M개로 나뉘져 운영되기 때문에 문제가 발생한 해당 라인은 영향을 받지만 다른 라인에는 영향을 미치지 않는다.

4. 결론

본 연구에서는 컨베이어를 이용하여 생산을 하는 중소기업의 조립 라인을 대상으로 편성 효율 개선 활동이 실시된 이후 작업자가 다 공정을 담당하게 함으로써 조립 라인의 수를 증가시켜 생산성을 향상시키는 접근 방법을 제안하였다. 그리고 개선 활동을 효과적으로 수행하기 위한 가이드라인도 제시하였다. 이를 통해 휴대폰 부품과 같이 소형이면서 조립 생산 시 제품을 손으로 직접 잡아 작업 위치로 가져와서 조립 작업을

한 후 컨베이어 위에 놓는 경우에는 단일 공정을 작업하고 다시 컨베이어를 이용해 다음 공정으로 이동하여 조립 하는 경우보다 작업자가 여러 개의 공정을 동시에 작업하는 것이 보다 효과적이라는 사실을 알 수 있었다.

사례 연구에서는 개선 활동을 2단계로 나누어서 1차 개선을 통해 영향을 분석한 다음 2차 개선을 실시하였다. 개선 활동 수행 결과 작업자 20명으로 구성된 하나의 컨베이어 조립 라인이 5명이 하나의 조립 라인을 이루는 4개의 U자 라인으로 변경되었으며, 생산성 향상뿐 아니라 관리 방식도 개선된 사례를 도출해 내었다. 그리고 개선 활동을 효과적으로 수행하기 위해서는 작업자의 다 기능 훈련, 부품의 공급이나 생산 계획의 운영 등 관리 방식의 개선 그리고 개선 활동의 활성화와 개선 리더 육성, 경영자와 현장 관리자 및 감독자들의 개선 의지가 중요함을 알 수 있었다.

본 연구에서 제안한 방법과 가이드라인을 유사한 생산 현장에 적용한다면 효과적으로 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 특히 생산 주기가 짧은 제품을 많은 생산 인원으로 단순 조립형 벨트 컨베이어에서 조립 작업을 실시하고 있는 경우에는 공정 통합을 통하여 비부가 가치 동작 시간을 줄일 수 있으며, 적은 투자비용으로도 생산성을 향상시킬 수 있어 더 효과적일 것이다. 향후 한 사람의 작업자에게 얼마만큼의 작업량을 할당하는 것이 작업자의 다 기능 훈련과 제품의 특성이나 공정의 특성에 따라 적절한지에 대한 연구를 진행하고자 한다.

참고문헌

- Abhishek, D. (2012), *Line Balancing, Today and Tomorrow*, Lambert Academic Publishing.
- Andreasen, M.-M., Kahler, S., Lund, T., and Swift, K.-G. (1988), *Design for Assembly* (2nd ed.), IFS Publications.
- Beverly, T. (2012), *The Basics of Line Balancing and JIT Kitting*, CRC Press.
- Cachon, G. and Terwiesch, C. (2013), *Matching Supply with Demand* (3rd ed.), McGraw-Hill, Korean edition by McGraw-Hill Education Korea.
- Choi, K.-S., Park, K.-A., and Yun, Y.-S. (2011), An Methodology for Productivity improvement Using Simulation Technique in Small and Medium Enterprise, *Journal of the Korean Institute for Industry and Economics*, **24**(4), 1969-1987.
- Gerald, R.-A., Olson, J.-R., and Schniederjans, M.-J. (2004), U-Shaped Assembly Line Layouts and Their Impact on Labor Productivity : An Experimental Study, *European Journal of Operational Research*, **156**(3), 698-711.
- Gordon, G. (2012), *The Basics of Self Balancing Processes*, CRC Press.
- Groover, M.-P. (2007), *Automation, Production System, and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice Hall.
- Hope, W. J., Hope, W., Spearman, M. L. (2000), *Factory Physics : Foundations of Manufacturing Management*, McGraw-Hill, Korean edition by Hankyungsa.
- Jo, J.-Y. and Kim, Y.-K. (2012), An Endosymbiotic Evolutionary Algorithm for Balancing and Sequencing in Mixed-Model Two-Sided Assembly Lines, *Management Science*, **37**(3), 39-55.
- Jo, K.-K. and Kim, Y.-K. (1993), A Study for Improvement of the Line Balancing in Assembly Line, *Proceedings of the Spring Conference of Korea Society for Precision Engineering*, 335-337.
- Koo, P.-H. (2009), Application of Bucket Brigades in Assembly Cells for Self Work Balancing, *IE Interfaces*, **22**(2), 144-152.
- Lee, S.-B. (2000), *Modern Production and Operation Management*, Keungmunsa.
- Lee, S.-Y., Hong, S.-H., and Kim, J.-H. (1998), A Process Improvement of the SMPS Assembly Line Using Motion Study and Line Balancing Techniques, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **11**(3), 155-166.
- Mok, H.-S., Cho, J.-R., and Pyo, S.-T. (2001), Implementation of Assembly Line and Line Balancing to Improve Assembly Productivity-A Case Study, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, **18**(8), 129-138.
- Moon, S.-M., Kwon, K.-S., and Choi, G.-H. (2004), Line Balancing for The Mixed Model Assembly Line Considering Processing Time and Physical Workloads, *IE Interfaces*, **17**(3), 282-293.
- Nils, B., Malte, F., and Armin, S. (2007), A Classification of Assembly Line Balancing Problems, *European Journal of Operational Research*, **183**, 674-693.
- Riggs, J. L. (1987), *Production System : Planning, Analysis and Control* (4th ed.), John Wiley and Sons.
- Shwetank, A., Rajeev, J., Mishra, P.-K., and Yadav, H.-C. (2013), A Heuristic Approach for U-Shaped Assembly Line Balancing to Improve Labor Productivity, *Computers and Industrial Engineering*, **64**, 895-901.
- Takeda, H. (1994), *Intelligent Automation System*, Korea Management Association Consulting.
- Yang, Y., Jiafu, T., Jun, G., Yong, Y., and Ikou, K. (2014), Mathematical Analysis and Solution for Multi-Objective Line Cell Conversion Problem, *European Journal of Operational Research*, **236**(2), 774-786.
- Yoon, C.-J., Rim, S.-C., Jang, J.-S., Park, S.-C., and Kwon, S.-J. (2004), Design of Automobile Line Using Assembly Cell Method, *Proceedings of the Fall Conference of Korean Institute of Industrial Engineers*, 395-402.
- Yun, Y.-S. (2008), An Methodology for Improving Worker Utilization and Productivity of Part Assembly Line by 3D Simulation Analysis, *Journal of the Korean Institute for Industry and Economics*, **21**(6), 2803-2822.