

조립생산성 향상을 위한 조립라인 구축 및 라인 밸런싱 -ABS 모터를 중심으로

목학수*, 조종래*, 표승태*

Implementation of Assembly Line and Line Balancing to Improve Assembly Productivity- A Case Study

Hak Soo Mok*, Jong Rae Cho* and Seung Tae Pyo*

ABSTRACT

The paper presents an implementation procedure of assembly line for ABS motor, which is composed of four subassemblies- yoke, grommet, housing and armature. The characteristics of ABS motor and its assembly processes are analyzed, and the automation possibility of each process is examined in order to decrease assembly time. The assembly machines and facilities are then selected for automatic assembly, and the layout of the selected facilities is determined. Finally, task allocation of each worker is achieved by assembly line balancing to increase assembly productivity and efficiency. The line efficiency is also analyzed using simulation.

Key Words : assembly line(조립 라인), Facility layout (설비 배치), Assembly line balancing (조립라인 밸런싱), Task allocation (작업 할당), Simulation(시뮬레이션)

1. 서론

조립공정을 자동화하는 것은 생산성을 높이고 수 조립에 의한 결함을 최소화시켜서 불량률이 낮은 제품을 대량 생산할 수 있는 이점이 있다. 하지만, 조립공정은 생산의 마지막 단계이므로 선행공정을 거치면서 많은 결함이 축적되어 자동화할 때 다른 공정에 비해 그 기술적, 경제적 위험 부담이 매우 높고 제품에 따라 조립시스템이 달라지기 때문에 표준화된 자동화 절차를 설정한다는 것은 매우 어려운 일이다^[1]. 따라서, 일정한 생산량만을 생산하고 투자비용과 가용공간이 한정되어 있을 때에는 무리하게 조립공정을 자동화하지 않고 특정 조립공정을 수 조립으로 작업하는 부분

자동화 시스템의 설계가 필요하다. 조립라인 구축에 관한 연구는 한정된 자본으로 최적의 자본투자를 결정하는 투자분석에 관한 문제와 조립라인의 효율을 극대화하기 위한 라인 밸런싱(ALB: Assembly Line Balancing) 문제에 집중되어 왔다^[2]. 또, 조립용이성을 위한 설계(DFA: Design for Assembly)와 조립자동화를 위한 제품 설계에 관한 연구와 맞물려 부품의 이송, 정렬, 공급, 체결 장치에 대한 연구와 국한된 공간 내에서 효율적인 공간 사용을 위한 기계 및 설비 배치와 평가에 대한 연구도 이루어져 왔다^[3].

본 연구에서는 자동차 ABS 모터의 최종 조립공정을 자동 조립과 수 조립을 혼합한 유연성 있는 조립 시스템으로 구축하는 절차를 제시하고자

2000년 11월 18일 접수

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소

한다. ABS 모터의 특성과 최종 조립공정을 분석하여 새로운 조립순서를 결정하고 파악된 ABS 모터의 특성과 조립공정, 목표 생산량, 사이클 타임 등을 고려하여 각 조립공정의 자동화 여부를 결정하게 된다. 이렇게 결정된 자동화 대상 조립공정들의 특성을 파악하여 조립장비들을 결정하게 되고, 사이클 타임 내에 목표하는 생산량을 생산하기 위한 기계배치 및 작업할당이 이루어진다.

2. ABS 모터의 부품 및 조립공정의 분석

2.1 ABS 모터의 부품 및 조립군의 분석

ABS 모터는 요크 조립군, 하우징 조립군, 글로메트 조립군, 아마추어 조립군의 총 4 개의 조립군으로 구성되어 있다^[4]. 요크 조립군에는 요크, 마그네트, 마그네트 홀더, 베어링 小, 볼트 大의 총 5 종의 9 개 부품으로 구성되어 있고, 하우징 조립군에는 하우징, 베어링 大, 볼트 小의 총 4 개의 부품이 존재한다. 그리고, 글로메트 조립군에는 브러쉬 홀더, 브러쉬 스프링, 케이블 등 총 24 개의 부품이 있으며, 아마추어 조립군에는 샤프트, 코미, 코어, O-ring 등 총 5 개의 부품으로 이루어져 있다. Fig. 1 은 자동차 ABS 모터의 4 가지 조립군을 보여주고 있다.

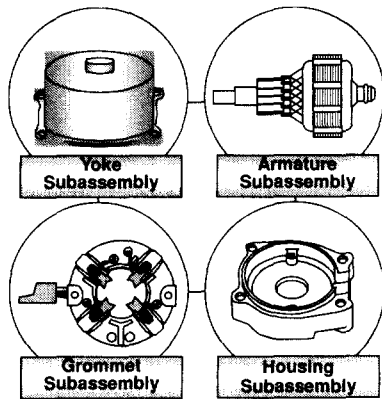


Fig. 1 Subassemblies of ABS motor

2.2 ABS 모터의 조립공정의 분석

ABS 모터의 조립공정은 아마추어 세척, O-ring 장착, 글로메트 실리콘 도포, 하우징과 글로메트 압입, 브러쉬 킴, 스프링 유무 확인 및 Rotor 베어링 압입, 실리콘 도포 및 요크 조립, 착자, 스티커 부착, 포장 등의 공정에 세부적으로 34 개의 단위

공정으로 나뉜다. 이 34 개의 세부 단위공정을 동일 장비 및 유사한 공정들을 통합하여 Table 1 과 같이 크게 15 개의 조립 공정으로 분류하였다.

Table 1 Assembly processes of ABS motor

No.	Assembly process	Time
1	Grease application, Air supply, O-ring insertion	15
2	Magnet holder assembly	12
3	Holder insertion to yoke	8
4	Bearing insertion to yoke	8
5	Armature and Bearing insertion	15
6	Pig tail control, Air supply	10
7	Silicone application, yoke insertion	14
8	Grommet insertion	28
9	Bolting of brush holder	10
10	Bolting of yoke	10
11	Spring insertion to brush holder	34
12	Magnetization of magnet	15
13	Aging ~ Load test	16
14	Airtight test	15
15	Sticker sticking, rust preventing, packing	16

Fig. 2 는 작업번호 1 인 그리스 도포, Air 공급, O-ring 삽입 공정의 작업스케치와 각 공정의 조립 측면에서의 주요 검사 항목을 보여주고 있다. 그리스 도포는 100 개의 O-ring 을 비닐 봉지에 넣고 주사기로 일정량의 그리스를 떨어뜨린 후 각 O-ring 에 일정량의 그리스를 묻히는 공정이다.

Grease application	Air supply, O-ring insertion
Important inspection factors	
<ul style="list-style-type: none"> ⇐ Number of O-ring ⇐ Amount of grease application ⇐ Whether the grease application is done to all O-ring uniformly 	<ul style="list-style-type: none"> ⇐ Exterior view of Commy ⇐ Exterior view of Shaft ⇐ Whether the grease application is done to O-ring ⇐ Location of O-ring

Fig. 2 Sketch and inspection factors of no. 1 work

작업 후 주요 검사 항목으로는 O-ring 의 수, 투입된 그리스의 양, 모든 O-ring 에 일정하게 그리스가 도포 되었는지의 확인 등이 있다.

3. ABS 모터의 조립라인 구축

3.1 조립공정의 자동화 여부 결정

조립되는 제품의 기하학적 특징, 조립공정의 복잡도 등에 따라서 조립공정의 자동화 여부가 결정이 되는데 이는 수 조립으로 쉽게 조립되는 공정을 애써 자동화함으로써 투자경비와 소요공간을 불필요하게 낭비할 필요가 없기 때문이다^[5,6]. Fig. 3 과 같이 조립되는 제품과 조립공정의 특성들과 목표 생산량, 사이클타임, 투자비용 등의 영향요소 및 고려사항, 자동 조립을 위한 이송, 정렬, 공급, 체결 영역에서의 자동화 메커니즘을 위한 부품과 공정의 결정요소를 고려하여 해당 조립공정을 자동화 할 것인지 아니면 수 조립으로 할 것인지를 결정하게 된다.

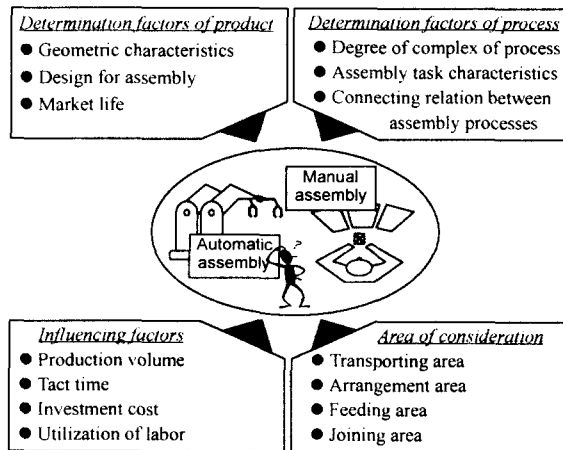


Fig. 3 Determination of automatic and manual assembly

본 연구에서는 자동 조립과 수동 조립의 결정을 위해서 조립공정 측면과 공정에 사용되는 부품 특성 측면을 고려하였다. 먼저 부품 특성 측면에서 이송, 정렬, 공급, 체결 영역의 4 가지 자동화의 전제 조건에 취약한 부품을 구별하여 수동 조립으로 행하고, 나머지 자동화 전제 조건을 만족하는 부품에 해당하는 공정들을 다시 한 번 조립 용이성 측면에서 자동화 여부를 판단하고 이 조립 용이성 측면을 만족시키지 못한 공정들에 대해서는

수 조립으로 행하게 된다. 조립 용이성 측면을 만족시킨 공정들에 대해서는 자동 조립의 장비를 결정한다. 그리고 수 조립으로 결정난 공정들에 대해서는 이송, 정렬, 공급 방법을 결정한다. Table 2 는 그리스 도포 공정에 대해서 4 가지 영역의 자동 조립 메커니즘 측면에서 조립용이성 점수를 산정한 것을 예로 보여주고 있다. 이송 영역에서의 평가기준에서 T1 은 연속적 이송가능, T2 는 이송장치 사용가능, T3 는 이송 시 영킴이 발생하지 않음, T4 는 Workpiece carrier 의 사용가능을 나타내며, 정렬 영역에서의 A1 은 연속적 정렬가능, A2 는 최소 조정횟수로 정렬가능, A3 는 정렬장치 이용가능, A4 는 정렬 시 영킴 없음을 나타낸다. 또, 공급 영역에서의 F1 은 연속적 공급가능, F2 는 공급 후 놓임안정성 유리, F3 는 공급장치 사용가능, F4 는 간헐적 공급 시 잡기가 용이를 나타내며, 체결 영역에서의 J1 은 간단한 체결방법 가능, J2 는 잡기가 용이함, J3 은 자동체결 가능한 허용오차, J4 는 체결 후 추가조정이 없거나 용이를 나타낸다.

Table 2 Automation possibility of grease application

Determination of automation possibility of each area						
	Transporting		Arrangement	Feeding		
	Criteria	Degree		Criteria	Degree	
	T1	-1		A1	-1	
	T2	-1		A2	+1	
	T3	-2		A3	-1	
	T4	-1		A4	-2	
	Sum	-5		Sum	-3	
	F1	0		J1	+1	
	F2	+1		J2	-1	
	F3	-1		J3	0	
	F4	-2		J4	-1	
	Sum	-2		Sum	-1	
-2: very difficult -1: difficult 0:same +1:easy +2:very easy					Total point	-12

예를 들면, 이송 영역에서 자동 이송을 위한 하나의 기준인 연속적 이송 가능(T1) 점수가 -1 이라는 것은 그리스 도포 공정의 자동 이송이 그만큼 어려워 진다는 것을 의미한다. 결국, 그림에서 보는 바와 같이 그리스 도포 전체 공정의 경우 자동화 가능 점수가 -12 점으로 자동화 가능성이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 방법으로 모든 조립공정에 대한 자동화 가능성을 결정하게 된다.

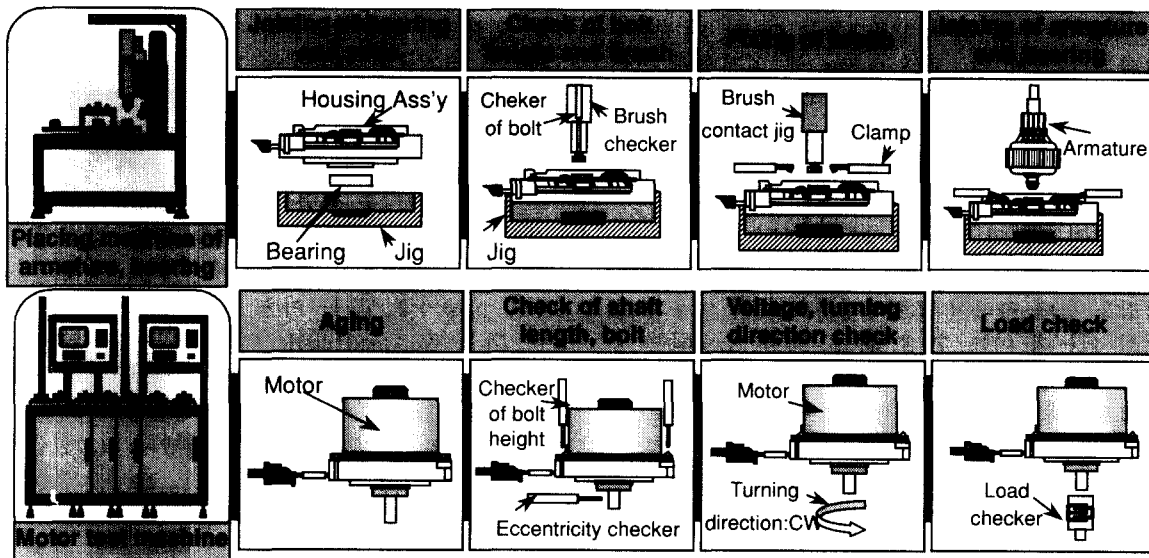


Fig. 4 Assembly processes using placing machine and test machine

3.2 조립공정의 조립 장비의 결정

각 세부 공정별 자동 조립 여부가 결정되면, 수동 조립으로 행하는 공정에 대해서는 이송, 정렬, 공급 방법을 결정하고 자동 조립으로 행하는 공정에 대해서는 조립장비를 결정하게 된다.

자동 조립으로 선정된 조립 공정들은 각 조립 공정의 특성에 따라 조립 기계장비가 결정이 되는데 [7], 본 연구에서는 ABS 모터의 조립을 위해서 아마추어 베어링 Placing machine, 홀더 요크 Placing machine, Motor test machine 의 3 가지 주요 장비를 결정하였다. 아마추어 베어링 placing machine 은 베어링과 요크 조립군의 조립, 브러쉬와 나사높이를 체크, 브러쉬의 고정, 아마추어와 베어링 압입의 조립공정이 수행된다. 홀더 요크 Placing M/C 은 요크와 마그네트 홀더조립군의 압입과 요크조립군과 베어링의 압입을 담당하며 Motor Test machine 은 에이징, S/F 검사, 볼트 검사, 편심량 검사, 무부하, 내전압, 회전방향, 파형검사, 부하검사 등의 검사 공정을 담당한다. Fig. 4 는 아마추어 베어링 Placing machine 과 Motor test machine 에 의해 수행되는 조립공정들을 보여주고 있다.

Fig. 5 는 아마추어 베어링 Placing machine 에서 이루어지는 조립작업들의 조립위치를 보여주고 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 부품의 취급은 사람에 의해 이루어지며 회전하는 Indexing table 위의

네 위치에서 차례로 조립작업이 수행된다. 즉, 위치 1 에서 베어링과 요크 조립군의 조립이 이루어지고 위치 2 에서 브러쉬와 나사높이를 체크하고, 위치 3 에서 브러쉬를 고정하고 위치 4 에서 아마추어와 베어링을 압입하게 된다.

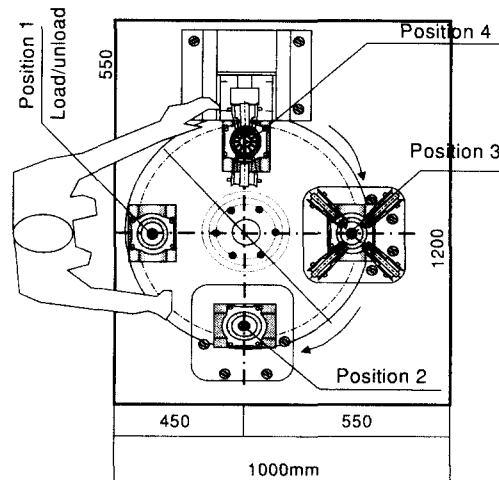


Fig. 5 Working position of placing machine

Fig. 6 은 홀더 요크 Placing machine 에서 이루어지는 조립 작업 즉, 마그네트 홀더조립군과 요크의 압입, 요크조립군과 베어링의 압입의 스케치와 작업위치를 보여주고 있다. 마그네트 홀더조립군

이나 베어링을 Placing machine 의 지그에 삽입한 후 요크를 정확한 위치에 안착하고 압입기를 작동시켜 압입을 완료한다.

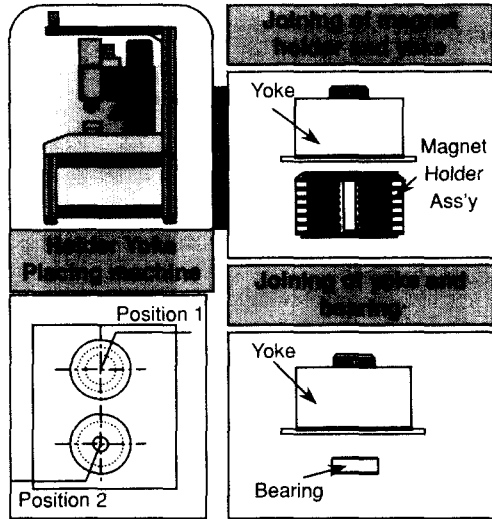


Fig. 6 Assembly processes using holder yoke placing machine

3.3 조립기계 장비의 배치

기계장비 및 설비 배치의 기본목적은 내부 운반을 원활하게 하고 공간을 효율적으로 이용하며, 기계 및 설비의 안전을 용이하게 하고, 작업자의 직무만족을 높이고 안전하고 쾌적한 내부환경을 조성하기 위한 것이다^[8].

설비배치의 종류에는 어느 한가지 품목을 전문적으로 생산하기 위하여 직렬로 배치하는 제품별 배치(Product layout) 또는 라인 배치와, 동일한 기능을 수행하는 장비를 모두 한 곳에 집결시키는 공정별 배치(Process layout), 제품의 특수성으로 인하여 가공대상은 특정위치에 고정되고 인원, 기계, 재료 등이 이동하면서 생산활동을 수행하는 고정 위치배치 등이 있다^[9].

본 연구에서는 ABS 모터 한가지 품목을 전문적으로 생산하기 때문에 생산이 신속하고 능률적인 제품별 배치를 주로 사용하였고, 대부분의 검사 공정은 완제품이 나온 시점에서 필요하기 때문에 검사 장비들이 한군데 모여 있는 공정별 배치를 사용한 혼합형 배치로 결정하였다. 앞에서는 세가지 배치형태를 엄격히 구별하였으나 실제로는 한 시스템 내에 서로 다른 배치형태가 공존하거나

결합되어 사용하는 경우가 많다.

ABS 모터의 조립라인을 위해 주어진 공간은 3920mm*7300mm 이다. 이러한 공간에서 위에서 결정된 장비들을 일자형으로 배치하는 것은 비효율적이고 불가능한 일이다. 따라서, 본 연구에서는 공간의 효율적인 할당과 유연하고 능률적인 생산을 위해서 Fig. 7 과 같이 U자 라인을 채택하였다.

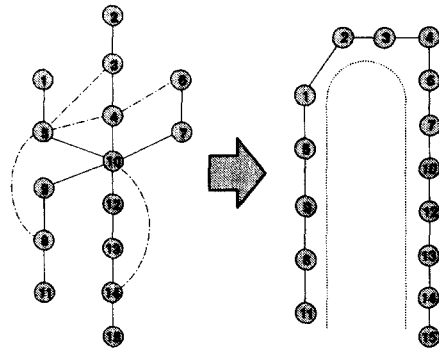


Fig. 7 Activity relation graph and line type of motor

U자 라인은 수조립과 자동조립이 혼합된 라인에서 공간 사용률과 작업자의 이동 거리를 최소화하면서 라인의 밸런싱과 작업효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 그림에서 왼쪽에 있는 네트워크는 조립순서를 함께 고려한 기계장비들 사이의 연관관계와 인접관계를 나타내며 이러한 네트워크에서 약간의 변형을 주어 오른쪽의 U자 라인을 결정하였다. 실선은 연관이 많아서 인접할 경우 이동거리 및 비용을 줄일 수 있음을 나타내고, 일점쇄선은 약간의 연관이 있어서 배치 시 혹은 배치 변형 시 고려할 수 있는 배치관계를 나타낸다. 또, 숫자는 Table 1 에서 결정된 15 가지의 조립공정을 위한 기계장비를 말한다. 즉, 1 번의 Air 공급, O-ring 장착, 그리스 도포 공정을 위한 장비에서부터 15 번의 스티커, 방정, 포장 장비까지 총 15 가지 장비를 포함하고 있으며, 장비 사이로 자재의 이동, 작업자의 작업공간, 작업자 이동 등의 통로가 마련되어 있다.

3.4 라인 밸런싱을 통한 작업 할당

조립 라인의 밸런싱 문제는 각 작업장에서 필요로 하는 시간이 생산 주기 시간을 넘지 않는 범위 내에서 대략적으로 생산 주기 기간과 같도록 가공 작업과 조립 작업을 조정하는 것이다^[10]. 이

러한 조립 라인의 밸런싱 문제는 수학적 증명보다는 발전적 접근 방식(Heuristic approach)이라는 논리적이고 경험적인 감각을 바탕으로 하는 기법들에 의해 연구되어 지고 있다. 즉, 어떤 최적의 방안을 보장하지 않지만 참다운 최적안에 접근하는 훌륭한 방안이 나올 것으로 기대하고 풀어나가는 기법이다. 많이 알려진 휴리스틱 방법에는 선행작업수가 가장 적은 작업부터 차례로 배정하는 Kilbridge-Wester 휴리스틱 방법, 그 작업과 모든 후속작업의 작업시간의 합순위가중치가 큰 과업을 먼저 배정하는 위치가중치 순위법(Ranked positional weight heuristic), 선행작업과 후행작업, 작업시간을 고려한 Moodie-Young 기법 등이 있다. 그 외에 COMSOAL 기법, Tree 생성 기법을 이용한 방법 등이 있다^[11].

본 연구에서는 세가지 조립라인 밸런싱 방법을 적용하였다. 첫째, 조립순서를 고려하여 선행관계를 만족시키면서 표준작업편성표를 사용하여 사이클타임내에 작업자의 작업을 반복적으로 할당해 나가는 방법, 둘째, 위치가중치 순위법의 가중치 개념과 선행도의 위치를 고려한 개량 휴리스틱 방법(Improved heuristic method), 셋째, 기존의 조립라인 밸런싱 방법 중 하나인 Kilbridge-wester 휴리스틱을 적용하였다. 이렇게 결정된 결과를 비교하여 각 조건에 따라 최적의 작업할당을 실현한다.

표준 작업편성표를 사용한 방법은 사이클타임과 작업자의 수를 먼저 구하고, 경험적으로 작업할당을 반복함으로써 최종적으로 최적의 할당방법을 구하는 것이고, 개량 휴리스틱 방법은 다음의 7 단계를 거쳐서 최종적으로 각 작업자의 작업들을 할당한다.

- 단계 1. 사이클 타임 목표치와 우선순위 제한을 파악한다.
- 단계 2. 각 작업에 대해서 PW(Positional Weight)를 결정한다.
- 단계 3. 높은 PW 를 가지는 작업 순으로 Rank 를 매긴다.
- 단계 4. 각 작업에 대해서 후속공정의 수가 많은 순으로 Rank 를 매긴다. 동률일 경우에는 Task time 이 큰 작업에 우선권을 부여한다.
- 단계 5. 단계 3 의 Rank 와 단계 4 의 Rank 를 통합하여 각 작업에 대해서 TR(Total Rank)를 구한다.
- 단계 6. TR 이 적은 순으로 작업들을 작업장에

할당해 나간다. 단 선행 우선 순위와 사이클 타임을 넘지 않는 범위내에서 할당한다.

단계 7. 모든 작업을 할당한 후, 각 작업장에서 Slack time 을 최소화 할 수 있는 방법을 선택한다. Slack time 은 각 작업장에서 작업을 마친 후 다른 작업장에서의 작업이 마칠 때 까지 기다리는 시간을 말한다. 따라서 이 Slack time 을 최소화하는 방법은, 할당된 각 작업장의 작업들의 작업시간을 구한 후 Slack time 이 많은 작업장의 작업을 Slack time 이 상대적으로 적은 작업장과 서로 교환함으로써 이러한 유휴시간을 최소화하는 것이다.

Table 3 은 이상의 세가지 방법을 사용한 ABS 모터 조립라인의 밸런싱을 통한 각 작업자별 작업 할당 결과를 보여주고 있다. 사이클타임을 조립시간을 조립생산량으로 나눈 것으로 목표 생산량을 충족시키기 위해서 하나의 ABS 모터를 조립해야 하는 개당 조립시간을 말한다. 월 15,000 개를 생산하고자 하고 표준작업편성표를 사용한 방법을 예를 들면, 월 목표 생산량이 15,000 개이고 월 22 일을 기준으로 했을 때 일 목표 생산량은 682 개이다. 일 근무시간은 10 시간 25 분을 기준으로 했을 때 36900 초이므로 목표 사이클타임은 일 근무시간을 일 생산량으로 나눈 54 초가 된다. 따라서, 일 목표 생산량 682 개를 생산하려면 54 초안에 하나의 모터를 조립하여 생산해야 한다.

다음으로, 기계의 순수 조립시간과 작업자의 취급시간을 고려하여 작업자의 수를 결정해야 하는데 식 (1)을 통하여 작업자의 수를 결정하였다.

$$K = \left\lceil \sum_{i=1}^N T_i / CT \right\rceil = \lceil 222/54 \rceil = 5 \quad (1)$$

여기서, K 는 작업자 수를 나타내고 N 은 조립 공정 수, T_i 는 각 조립공정의 소요시간, CT 는 사이클타임을 나타낸다. 즉, 54 초안에 한 개의 모터를 생산하기 위해서는 최소한 5 명의 작업자가 필요하다라는 의미이다.

작업자의 작업시간은 일반적으로 취급시간만을 나타내는데 이 조립라인은 자동 조립과 수 조립이 혼재하므로 각 작업자의 작업시간에는 부품 및 조립군의 취급시간 뿐만 아니라 각 기계장비가 조립작업을 수행하는 동안에 작업자가 기다리므로

Table 3 Comparison of assembly process assignment of each balancing method

Production volume	5000 units/month			10000 units/monts			15000 units/monts		
	Worker	Assigned process	Sec	Worker	Assigned process	Sec	Worker	Assigned process	Sec
Standard work assignment method	1	9,8,11,13,14,15	119	1	11,13,14,15	81	1	11,12	49
	2	5,1,2,3,4,6,7,10,12	107	2	8,9,7,10,12	77	2	8,9,10	48
	CT=162sec, LE=69.7%, SI=12			CT=81sec, LE=93%, SI=13.6			3	13,14,15	47
							4	5,6,7	39
							5	1,2,3,4	43
						CT=54sec, LE=83.7%, SI=11.5*			
Improved heuristic method	1	11,8,2,1,3,9,4,7,6	154	1	11,8,2	74	1	11,1	49
	2	10,12,13,14,15	72	2	1,3,9,5,4,7,6	80	2	8,2,3	48
	CT=162sec, LE=69.7%, SI=82			CT=81sec, LE=93%*, SI=10*			3	9,5,4,7	47
							4	10,12,13	41
							5	6,14,15	41
						CT=54sec, LE=83.7%, SI=11.5*			
Kilbridge-wester method	1	11,8,2,1,3,9,4,7,6	154	1	11,8,2	74	1	11,1	49
	2	10,12,13,14,15	72	2	1,3,9,5,4,7,6	80	2	8,9,5	53
	CT=162sec, LE=69.7%, SI=82			CT=81sec, LE=93%*, SI=10*			3	2,3,4,7,6	52
							4	10,12,13	41
							5	14,15	31
						CT=54sec, LE=83.7%, SI=25.4			

기계의 조립시간까지 포함되었다. 조립 라인 밸런싱의 효율을 나타내는 지표로 주로 식 (2)와 식 (3)의 라인효율(Line Efficiency)과 평준화지수(Smoothness Index)가 사용되는데, 라인효율은 총 조립시간을 Tact Time 과 작업자의 수의 곱으로 나눈 값이고 평준화지수는 각 작업자의 작업시간의 분산정도를 표시하는 값이다.

$$LE = \left\{ \sum_{i=1}^N T_i / (K)(CT) \right\} \times 100\% = 83.7\% \quad (2)$$

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^K (T_{max} - T_i)^2} = 11.5 \quad (3)$$

여기서, K 는 작업자의 수, CT 는 사이클타임, T_i 는 각 작업자의 작업시간, T_{max} 는 작업자의 최대 작업시간을 나타낸다. 이러한 지표들은 하나 이상의 조립라인과 작업할당의 대안들을 비교, 평가할 때 유용하게 사용되며, 라인효율의 경우 그 값이 높을수록 좋고 평준화지수의 경우 그 값이 낮을수록 라인 밸런싱이 잘 이루어졌다고 할 수 있다.

표에서 월 생산목표가 5,000 개일 경우 표준작업편성표를 사용한 방법의 경우는 라인효율과 평준화지수가 좋은데 반해서 개량 휴리스틱 방법과

Kilbridge-wester 방법을 사용한 경우의 라인 효율과 평준화지수가 상대적으로 떨어지는 이유는 후자의 경우 단순히 휴리스틱 단계에 따라 작업들을 사이클타임 안에만 들도록 하나씩 할당한 것이기 때문이다.

결론적으로, 5,000 개를 생산할 경우 표준작업편성표를 사용하여 경험적으로 반복하여 할당한 경우가 가장 좋으며, 10,000 개를 생산하는 경우는 개량 휴리스틱과 Kilbriede-wester 방법을 사용하여 할당한 경우가 같은 점수로 평가되었으며 각 작업자에게 할당된 작업도 같은 것으로 나타났다. 또, 15,000 개를 생산하는 경우에는 표준작업편성표를 사용한 경우와 개량 휴리스틱을 사용한 방법이 라인효율 83.7%와 평준화지수 11.5 로 같게 나와서 어느 방법을 사용해도 무방하지만, 작업자에 할당된 조립작업의 종류는 약간의 차이가 있다.

Fig. 8 의 왼쪽 그림은 Table 3 에서 평가된 것 중 월 10,000 개를 생산 할 때의 최적 작업할당인 개량 휴리스틱 방법과 Kilbriede-wester 방법을 사용한 작업할당의 경우의 U 자 라인에서의 작업자의 이동경로와 할당된 작업의 종류, 작업 순서를 보여주고 있다. 또 오른쪽 그림은 월 15,000 개를 생산하고자 할 때의 최적 작업할당인 표준작업편성표를 이용한 방법과 개량 휴리스틱 방법 중에서 표준작업편성표를 사용했을때의 작업자의 작업할

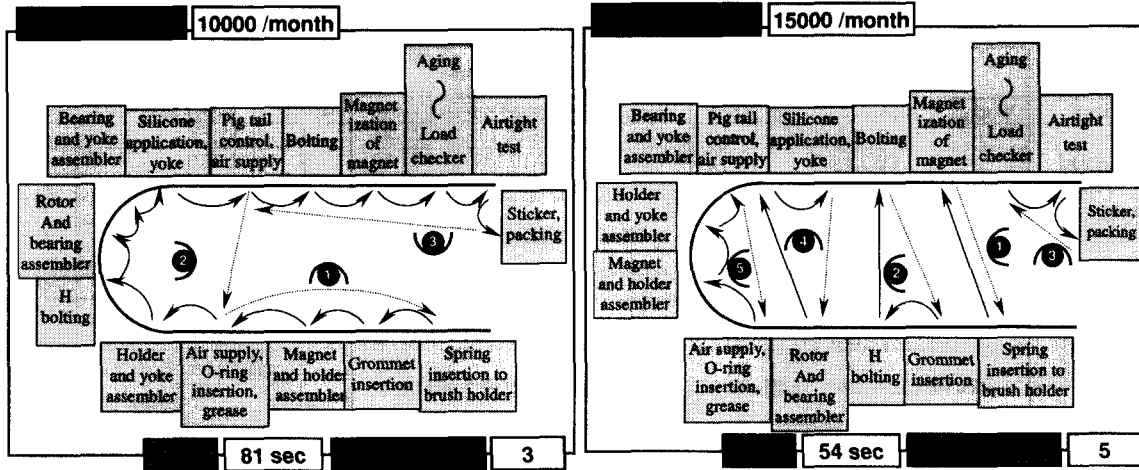


Fig. 8 Implementation of assembly line of ABS motor

당을 보여주고 있다. 여기서, 실선은 작업자가 조립을 위해 부품이나 조립군을 들고 이동하는 것을 의미하고, 점선은 해당 작업자에 할당된 조립공정을 마치고 빈손으로 초기의 위치로 돌아오는 것을 말한다. 수조립과 자동조립이 혼합된 경우의 조립 시스템에서는 작업자가 부품을 직접 들고 이동하기 때문에 작업장간 이동거리와 이동시간이 직접적으로 조립시간에 영향을 미친다. U 자 라인으로 배치된 시스템에 zigzagging 으로 움직이며 작업을 하게 되면 각 작업자의 이동거리와 이동시간을 최소화하여 전체적인 조립시간을 줄일 수 있다. 월 목표 생산량이 10,000 개인 경우 사이클타임을 계산하면 81 초이며 이 시간안에 하나의 모터를 생산하기 위해서는 최소한 3 명의 작업자가 필요하다. 월 목표 생산량이 15,000 개인 경우 앞에서 계산했듯이 5 명의 작업자가 54 초안에 하나의 모터를 생산해야 한다. Table 4 는 이들의 경우 각 작업자의 담당공정, 작업시간, 이동거리를 보여주고 있다.

여기서, W 는 작업자(Worker)를 나타내고, S 는 작업순서(Sequence), P 는 담당공정(Process), T 는 작업시간(Time), D 는 이동거리(Distance)를 나타낸다. 예를들면, 생산량이 월 10,000 이고, Table 3 에서 보는바와 같이 LE 값과 SI 값이 좋은 개량휴리스틱 방법과 Kilbridge-Wester 방법을 이용한 라인 밸런싱의 경우, 1번 작업자는 조립공정 11, 8, 2를 담당하므로 전체 조립시간이 사이클타임 81 초 이내인 74 초이고 이때의 이동거리는 3.8m 가 된다.

Table 4 Work Allocation of each worker

Production volume: 10,000units/month										
W	S	P	T	D	W	S	P	T	D	
1	1	11	34	2.3	2	6	7	14	0.7	
	2	8	28	0.8		7	6	10	0.8	
	3	2	12	0.7		Sum			80	5.3
	Sum		74	3.8		1	10	10	3.7	
2	1	1	15	1.0	3	2	12	15	0.7	
	2	3	8	0.7		3	13	16	0.6	
	3	9	10	0.7		4	14	15	1.2	
	4	5	15	0.8		5	15	16	0.5	
	5	4	8	0.6		Sum			72	6.7
Production volume: 15,000units/month										
W	S	P	T	D	W	S	P	T	D	
1	1	1	15	1.3	3	1	8	28	0.8	
	2	2	12	0.6		2	9	10	1.0	
	3	3	8	0.4		3	10	10	1.0	
	4	4	8	1.2		Sum			48	3.8
2	1	5	15	1.2	4	1	11	34	1.2	
	2	6	10	0.8		2	12	15	1.2	
	3	7	14	1.0		Sum			49	2.4
	Sum		39	3.0		1	13	16	2.0	
Unit: time-sec., distance-m					5	2	14	15	0.7	
						3	15	16	0.8	
						Sum			47	3.5

각 작업자마다 담당하는 조립공정의 수와 각 조립공정별 조립시간, 이동거리가 틀리지만 앞에서 이루어진 밸런싱을 통해서 전체적인 조립시간과 이동거리가 모든 작업자가 비슷하게 조정되는 것이다.

자동 조립의 경우와 마찬가지로 수동 조립이 혼합된 경우에도 각 작업자의 전체 작업시간이 비슷하게 밸런싱되는 것이 중요하며 특히, 이동거리도

잘 고려하여 작업할당이 이루어져야 한다. 왜냐하면, 그림에서 나타나는 이동거리는 하나의 모터를 생산할때의 이동거리이고 생산하고자 하는 모터의 수만큼의 이동거리는 그 수가 많아질수록 차이가 많이 나기 때문이다. 따라서, 각 작업자의 이동거리와 해당 조립공정의 피로도, 작업의 난이도 등을 평가하여 시간별 작업교대, 작업 재할당 등의 활동이 이루어져야 한다.

3.5 시뮬레이션을 이용한 라인 분석

생산시스템의 설계 및 운영단계에서 경영자는 수많은 Trade-off 이 있는 의사결정에 직면하게 되는데, 시뮬레이션은 이러한 잠재적인 Trade-off 을 사전에 실험하여 오류의 위험을 줄이고 자원을 최적화 할 수 있게 한다^[12].

본 논문에서는 라인밸런싱과 작업할당으로 구축된 ABS 모터의 조립라인을 실제로 구축하기 전에 그 조립 생산성과 라인 흐름의 타당성을 시뮬레이션 전용언어인 ARENA 를 사용하여 미리 분석하였다.

Fig. 9 는 실행중인 ABS 모터의 조립라인의 ARENA 모델링을 보여주고 있다.

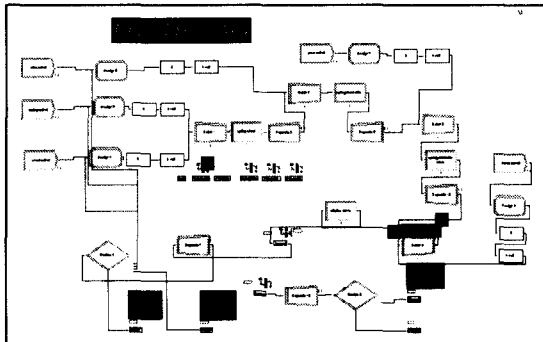


Fig. 9 Simulation modeling of ABS motor line

Fig. 8 의 생산량에 따른 2 가지 종류의 조립라인을 위의 모델링을 사용하여 분석, 평가한 결과는 Table 5 와 같다.

시뮬레이션을 수행한 결과 이러한 형태의 조립시스템으로 사이클타임 81 초와 54 초 이내에 목표 생산량인 10,000 개와 15,000 개가 생산 가능함을 알 수 있었다.

Table 5 Result of simulation of ABS motor line

Volume (unit)	10000 units/month		15000 units/month	
	Good	Bad	Good	Bad
	9901	99	14848	152
Cycle time(sec.)	75		47	
Average server utilization	0.342		0.483	

4. 결론

본 연구에서는 자동차 ABS 모터의 최종 조립공정의 조립시스템을 구축하고 생산성 향상을 위한 배치, 라인 밸런싱을 통하여 작업을 할당하였다. 먼저, 전체 조립공정을 단위공정으로 분류하여 각 단위공정별 자동화 가능 여부를 판단하여 자동 조립의 경우 조립메커니즘에 따라 기계장비를 선택하였다. 그리고, 단위공정에 따라서 결정된 조립 장비들의 효율적 배치를 위해서 U 자 라인의 배치를 실현하여 작업자의 이동시간과 조립시간을 최소화하였다. 또, 조립라인 밸런싱을 실현하여 목표 생산량을 생산할 수 있는 작업자 수를 결정하여 각 작업자별 조립 작업을 할당하였다. 그리고, 구축된 조립시스템을 ARENA 를 사용하여 시뮬레이션하여 생산성과 타당성을 검증하였다.

본 논문에서 제시된 부분 자동화 조립시스템은 사람이 부품을 취급할 만큼 소형 제품이고 협소한 공간에 시스템을 구축할 필요가 있을 때 유용하다. 이러한 부분 자동화 조립시스템은 부품 혹은 조립군을 취급하고 체결하는 조립공정에서 취급은 사람에게 의해서 이루어지고 실제 정밀한 작업인 체결은 기계장비를 사용하는 경우가 많다. 그러나, 사람에게 의한 작업은 주위환경에 따라 생산량과 불량에 민감하므로, 장기적으로는 취급을 포함한 전 조립공정을 완전 자동화하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2000 년도 두뇌한국 21 사업 핵심분야와 부산대학교 기성회 재원 학술연구 조성비에 의해 수행된 연구임

참고문헌

1. Frank J., "Assembly Automation," Industrial Press Inc., pp. 47-77, 1996.
2. Boothroyd, G., "Assembly Automation and Product Design," Marcel Dekker, Inc., pp.181-208, 1991.
3. Redford, A. and Chal, J., "Design for Assembly," McGraw-Hill, Inc., pp. 75-134, 1994.
4. 목학수, 조종래, "자동차 송풍모터의 조립용이성과 자동화를 위한 재설계," 한국정밀공학회지, 16 권, 11 호, pp. 36-46, 1999.
5. Lotter, B., "Manufacturing Assembly Handbook," Butterworths, pp.303-383, 1989.
6. Thomas E., William L., and Clay W., "Manufacturing Planning and Control System," IRWIN, pp. 120-154, 1991.
7. 목학수, 조종래, 김명렬, "소형모터의 수조립공정의 자동 조립시스템 구축 및 평가체계," IE Interfaces, Vol. 12, No. 1, pp. 32-42, 1999.
8. Francis, R. L., McGinnis, L. F. and White, J. A., "Facility Layout and Location: An Analytical Approach," Prentice Hall, pp. 27-184, 1992.
9. 황학, "작업관리론," 영지 문화사, pp.129-156, 1992.
10. Schmidt, L. C. and Jackman, J., "Evaluating Assembly Sequences for Automatic Assembly Systems," IIE Transactions, 27. pp. 23-31, 1995.
11. Rosari, L. M., "Design for Assembly Analysis: Extraction of Geometric Features from a CAD System Data Base," Annals of the CIRP, Vol. 38, No. 1, pp. 13-16, 1989.
12. Law, A., Kelton, W., "Simulation Modeling & Analysis," McGraw-Hill, pp. 1-132, 1991.