Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 27, No. 1, pp. 103-110, March 2001.

다품종 주문생산 방식의 조립시스템 자동화에 관한 연구

목학수† · 문광섭 · 신현창 · 표승태

부산대학교 산업공학과

Automation of Assembly System in Make-To-Order

Hak Soo Mok · Kwang Sup Moon · Hyun Chang Shin · Seung Tae Pyo

Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Pusan

The aim of this paper is the implementation of high assembly productivity through product redesign. The product and process are analyzed by influencing factors for based data of the product redesign. And then, the weak assembly processes are analyzed by weak influencing factors. By this information about product and process, the score of weakness of influencing factors extracts the redesign rules and principles. The sequences of processes are changed according to the product redesign, and they are evaluated using the line efficiency and smoothness index.

Keywords : Assembly Automation, Make-To-Order, Product Redesign

1. 서 론

오늘날은 제품 판매 시장의 확대와 함께 경쟁 시장의 블록이 무너지면서 하나의 경쟁 시장을 이루게 되었다. 이런 시장에서 기업의 생존은 생산 및 제조 능력의 향상과 효율적인 조직, 그리고 시장개척을 위한 마케팅 전략 개발에 있다. 그 중에서도 생산 능력의 향상은 제품에 대한 기술 개발을 통한 기술력 확보와 생산공정의 합리화를 이루기 위한 저비용 고효율의 생산 구조로 개선함으로써 이룰 수 있다.

일반적인 생산 및 조립 시스템은 전체적인 설비 계획, 적절한 생산관리 등의 부족으로 다음과 같은 문제점이 나타나고 있다.

- 소비자의 요구 다양화에 따른 제품의 수명주기 단축에의 대응 부족
- 다품종 소량생산의 필요성 증대
- 생산 및 조립 시스템 내의 취약 공정의 존재
- 생산 및 조립 계획과 통제의 부재

이러한 문제를 해결하기 위해 다품종의 주문생산, 시스템 유연성 및 자동화를 위한 최적 제품 설계를 통한 소비자의 다양한 요구에 신속히 대응할 수 있도록 높은 유연성과 자동화를 갖는 유연제조 시스템(Flexible Manufacturing Systems)의 적용이 필요하며, 이에 따른 제조 관련 지식 베이스의 구축이 필요하다(Lotter, 1989). 그러나 유연 제조 시스템을 통한 완전 자동화는 기술적, 경제적 부담이 매우 높아 조립 라인의 작업장의 개선을 통한 생산성 향상을 도모하는 방법을 연구하고자 한다(Paul *et al.*, 1991). 따라서 본 논문에서는 유연성을 고려한 자동화에 관한 시스템보다는 주문생산의 특징을 그대로 유지하면서 수조립에 장비를 참여시키는 혼합 조립 라인을 구축하여, <그림 1>과 같이 이러한 위험을 내재한 요소들을 최소화시킬 수 있는 조립공정의 대안을 위한 전체적인 가이드 라인을 조립 생산성 향상 측면에서 제시하고, 설계된 개선 조립 시스템의 대안들을 설계원칙에 의거하여 평가하고자 한다.

즉, 앞에서 밝힌 주문생산 방식의 조립라인에 대한 연구를 제품 재설계를 통한 취약 공정 개선하는 방법과 기술적, 경제적 위험을 대폭 감소하여 조립생산성을 향상시킬 수 있는 방법을 채택하고자 한다. 자동 조립시스템의 설계 및 구축에 관한 연구는 일부 선진국을 중심으로 활발하게 이루어지고 있다(Ulrich *et al.*, 1995). 국내에서는 제품 가공, 조립, 검사 부분에

이 논문은 제1회 IE/MS 사이버학술대회에서 우수논문으로 선정된 후 수정과 심사를 거쳐 게재가 확정되었음.
† 연락저자 : 목학수 교수, 부산시 금정구 장전동 산 30 부산대학교 산업공학과, Fax : 051-512-7603, e-mail : hsmok@hyowon.pusan.ac.kr
2000년 4월 접수, 1회 수정 후, 2001년 1월 게재 확정.

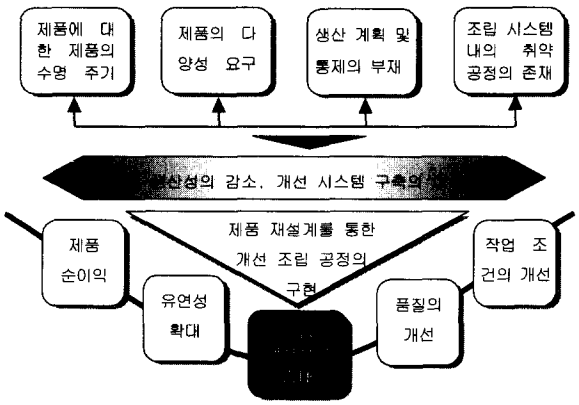


그림 1. 연구의 배경과 필요성.

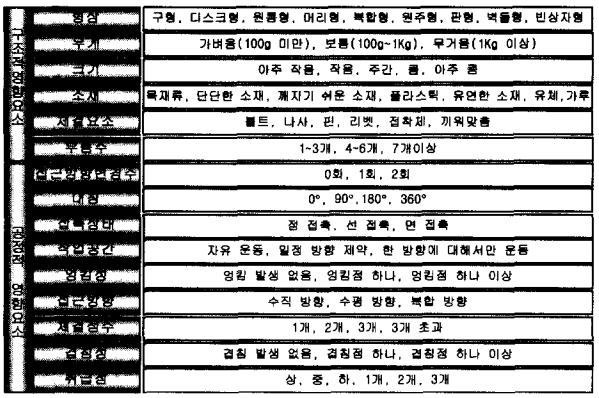


그림 2. 제품 분석을 위한 영향 요소 파악.

일부 자동화, 완전 자동화가 아닌 부분적 자동화, 반자동 혹은 기계화에 관한 연구가 부분적으로 이루어지고 있다. 이것은 조립제품에 대한 정보 분석이 미비했기 때문이다. 그리고 DFA(Design for assembly) (Andreasen *et al.*, 1988)에 관한 연구는 일부 선진국들 뿐만 아니라 국내에서도 활발하게 이루어지고 있다.

2. 조립 공정 개선을 위한 제품 및 공정 분석

2.1 제품 분석

조립 라인의 개선을 위한 일련의 중요한 절차 중의 하나가 제품의 분석이다. 왜냐하면 제품의 구조, 부품수 등은 이송, 공급, 정렬, 체결의 메커니즘과 개선을 위한 장비 및 보조도구의 선택에 있어 깊은 관계를 가지고 있으며, 부품의 형상, 무게, 크기, 재질 등은 제품의 부품이 조립되기 위해서 어떻게 이송, 정렬, 공급, 체결, 저장되는지에 관련이 있다. 조립되어지는 방향, 조립순서 등은 각 부품의 자동화, 수동화, 반자동화의 결정 여부를 판단하는 데도 중요한 자료들이 된다.

본 논문에서의 제품은 조립 라인상에 놓여지고 이송되고 체결되는 대상으로써 부품, 조립군, 완제품으로 나누어진다. 부품은 단일 소재로 이루어진 조립 대상이며, 조립군은 2개 이상의 부품이 체결요소에 의해 조립된 대상이며 완제품은 검사, 출하 전의 제조 및 조립 공정이 일단락된 제품이다.

<그림 2>와 같이, 제품 자체의 특징요소로써 형상, 크기, 무게, 소재, 체결요소, 부품수의 6가지로 크게 분류 되어지는 구조적 측면의 영향 요소와 방향수, 대칭, 접촉 상태, 작업 공간, 엉킴성, 접근 방향, 체결점수, 겹침성, 취급점의 9가지 기본 요소인 공정적 측면의 영향 요소로써 나누었다. 이런 세부 요소들 간의 상관관계를 결정하여 제품의 재설계를 이룬다 (Peugeot, 1988).

2.2 조립 공정의 분석

산업체에서 보통 이루어지는 실제 조립은 작업의 특성을 고려한 일련의 표준 작업서를 바탕으로 이루어진다. 모든 산업체마다 차이는 있겠지만 보통 표준 작업서에 공통적으로 기록되어지는 내용은 조립 공정명, 소요시간, 작업순서 등으로 나눌 수 있다. 이것을 통해 조립의 단위 공정별로 분석하였다.

조립의 단위 공정은 공정의 단위를 말하며, 요소 작업은 조립의 단위 공정을 작업 순서를 바탕으로 최소의 기능을 가지는 미세 동작으로 구분한 조립의 최소 기능 동작 단위를 말한다(Mazda, 1989).

앞에서 설명한 것처럼 공정의 최소 단위가 되는 각각의 단위 조립공정에 대해 분석이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 단위 조립공정의 세부 작업, 작업순서, 조립 시간을 기준으로 공정을 나열하였으며, 이를 통해 작업 분석 check list를 작성하였다.

<그림 3>은 조립 공정의 단위 공정을 분석하기 위한 check list의 예를 보여주고 있다. 여기서는 그림에 나타난 것처럼 공정의 간단한 스케치와 조립 시간 세부 조립 작업내용 및 순서 이송, 정렬, 공급, 체결에 있어서의 간단한 서술 및 경험적인 점수를 부여하였다. 이것을 토대로 하여 각각의 단위 공정에 대한 요소 작업들을 도표를 이용하여 그릴 수 있다.

<그림 4>는 단위 조립공정의 분석을 나타내고 있다. 그 내용은 조립순서 세부공정내용, 조립시간 등을 나타내고 있으며, 이러한 단위 공정 분석은 3장에서 이루어질 취약 공정 분석을 통한 재 설계 원칙에 적용되기 위한 중요한 자료가 된다. 예를 들면, 단위 조립공정 Steel tape 절단은 총 9개의 세부공정으로 나누어지며 총 32초의 조립시간이 소요된다.

3. 취약 공정의 분석

일부 선진국의 연구를 보면 조립용 이성 향상을 위한 설계 원칙들이 많이 제시되고 있고 많은 자료들이 정리 되어있다. 그

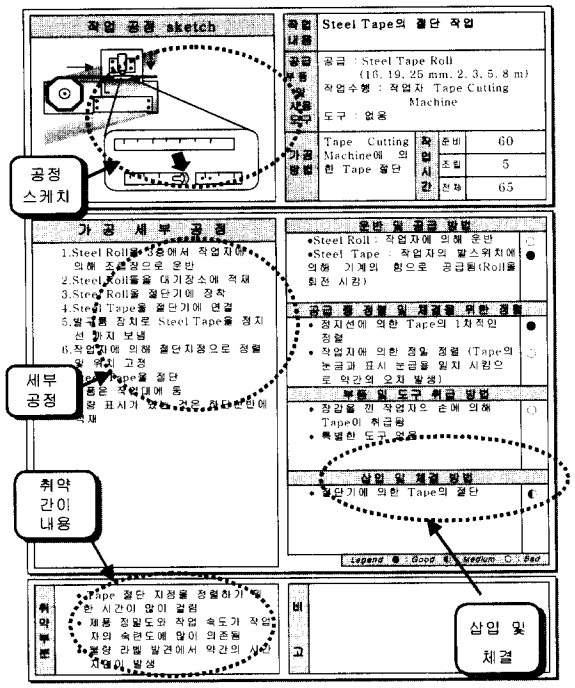


그림 3. 단위공정의 check list.

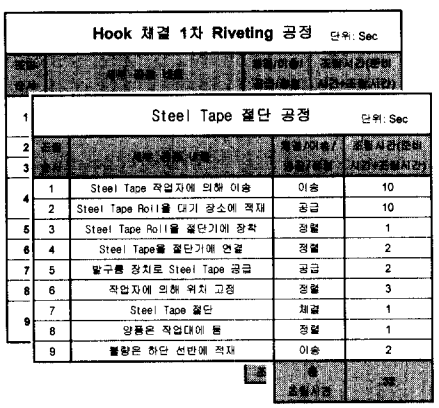


그림 4. 단위 조립 공정의 분석.

러나 이러한 것들은 취약 공정을 개선할 수 있는 원칙을 적용하기에는 많은 어려운 점들이 있다. 이러한 것들을 극복하기 위해 본 논문에서는 취약공정에 대해 효율적인 개선 대안을 도출해내기 위한 단위 공정의 취약 정도를 계산하여 우선순위를 결정한다. 그리고 취약 정도가 가장 높은 영향 요소에 대하여 관련된 설계 원칙들의 기준을 도출할 수 있도록 하였다.

2절에서 분류된 공정 분석을 토대로 영향 요소별 단위 공정에의 취약 정도를 파악하여, 우선 순위를 정하였다. 먼저 구조적 영향 요소에는 형상, 크기, 무게, 소재, 체결요소, 부품수이며, 공정적 영향요소에는 방향수, 대칭, 접촉상태, 작업공간, 엉킴성, 이송, 정렬, 공급, 체결로 분류하였다. <그림 5>는 각각의 단위 공정에 대한 취약정도를 구조적, 공정적 영향 요소들에 의해 분류를 하였고, 그에 따른 취약 점수를 산정한 것을 보

		P_1	P_2	P_3	P_4	…	…	…	…	P_{n-2}	P_{n-1}	P_n	합계	우선순위
구조적 영향요소	A	3	3	1	1	…	…		…	…	1	3	18	6
	B	1	3	3	1	…	…		…	…	1	3	12	9
	C	5	3	1	1	…	…		…	…	1	1	12	10
	D		1		3	…	…		…	…	1	1	6	15
	E	:	:	:		…	…		…	…			10	11
	F	:	:	:		…	…		…	…			7	13
공정적 영향요소	G	:	:	:		…	…	…	…	…			15	7
	H	:	:	:		…	…		…	…			6	14
	I	:	:	:		…	…		…	…			9	12
	J	:	:	:		…	…		…	…			13	8
	K	:	:	:		…	…		…	…			16	5
	L	:	:	:		…	…		…	…			24	3
	M	5	3	5	5	…	…		…	…	3	5	26	2
	N	3	5	5	3	…	…		…	…	5	3	21	4
	O	1	5	1	3	…	…		…	…	3	3	29	1
	합계	3 5	3 8	3 2	2 6	…	…		…	…	2 4	3 5	224	

LEGEND
A:형상 B:크기 C:무게 D:소재 E:체결요소 F:부품수
G:방향수 H:대칭 I:접촉상태 J:작업공간 K:엉킴성
L:접근방향 M:체결점수 N:겹침성 O:취급점
P_n:단위 공정 1:낮은 취약 3:보통 취약 5:높은 취약

그림 5. 단위공정별 취약점수의 산정.

여 주고 있다. 영향 요소 중 체결에 있어서의 취약 점수가 가장 높은 29점으로 나타났으며 소재에 대한 영향 요소가 4점으로 낮은 취약 점수가 주어졌다.

이러한 영향 요소에 대한 점수의 산정은 현장의 경험적 사고와 구조적, 공정적인 상황을 고려하여 산정하였으며, 이것을 바탕으로 각각 공정별로 어떤 취약점을 가지고 있는 지도 정확하게 알게 된다. 여기서 1, 3, 5점으로 점수를 부여한 것은 취약의 정도를 3개의 등급으로 분류하기 위함이다. 1점은 낮은 취약정도를 나타내며, 3점은 보통의 취약정도를 나타낸다. 그리고 5점은 높은 취약정도를 나타내었다. 각 영향 요소의 취약 총점은 해당 단위 공정에 대한 요소작업에 기입된 등급에 따른 점수의 합으로 구해지게 되며, 합으로 구한 총점수가 높을수록 그에 해당하는 단위 공정을 수행하는 데 영향 요소가 취약하다는 의미이다.

여기서 산정된 단위 공정별 영향 요소별 취약점수를 이용하여 취약의 정도를 판정하는 것은 개인의 경험에 의존하는 관계를 가진다고 생각할 수 있다. 그래서 영향 요소별 상관관계를 고려하고 그에 대한 상관관계의 가중치를 적용하여 객관적인 판단이 이루어지게 하였다.

여기서 계산된 취약 점수를 가지고 조립시스템의 취약의 정도가 결정된다. 영향 요소의 최종적인 취약 점수는 식 (1)과 같이 표현 될 수 있다. 각각의 영향 요소에 대한 취약 점수(IP)에 상관관계의 점수(IR)에 영향 요소별 가중치(W_{IF})를 곱한 값을 더해서 최종적인 취약 점수($TWIF$)가 나오게 된다(Mok *et al.*, 1999).

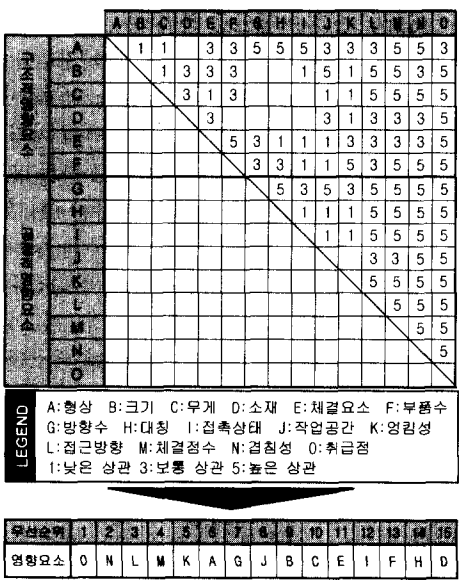
$$TWIF = IP + (IR \times W_{IF}) \quad (1)$$

$TWIF$: 영향 요소의 총 취약 점수
IP : 단위 공정에 대한 각각의 영향 요소의 취약 점수
IR : 영향 요소의 상관관계
W_{IF} : 영향 요소별 가중치

<그림 6>은 영향 요소별 상관관계와 우선순위를 보여주고 있다. 이 단계는 영향 요소들 간의 상관관계 점수를 산정하는 것으로 각각의 영향 요소에 대하여 상관관계 점수가 주어졌다. 각 요소 각각의 영향 요소의 공정에서의 취약점만으로는 그 판단의 기준이 미흡하다. 왜냐하면 영향 요소들은 독자적으로 공정에 영향을 미치는 것이 아니라 서로 연관이 되어 공정에 영향을 미치게 된다(Cross, 1994). 이러한 사항을 고려하기 위해 서로의 상관관계를 점수로 산정하였다. 이 점수도 공정별 영향 요소의 취약점수와 같은 3가지 등급의 같은 점수를 부여하였다. 이러한 영향 요소들의 상관관계 파악은 보다 정확하고 개선의 효과를 크게 발휘할 수 있는 영향 요소를 선별하는 데 중요한 역할을 한다. 이것을 토대로 영향 요소의 우선순위를 결정하여 각 영향 요소에 필요한 가중치를 구하는 데 사용된다. 따라서, 상관관계 점수를 구하는 것은 식 (2)와 같다.

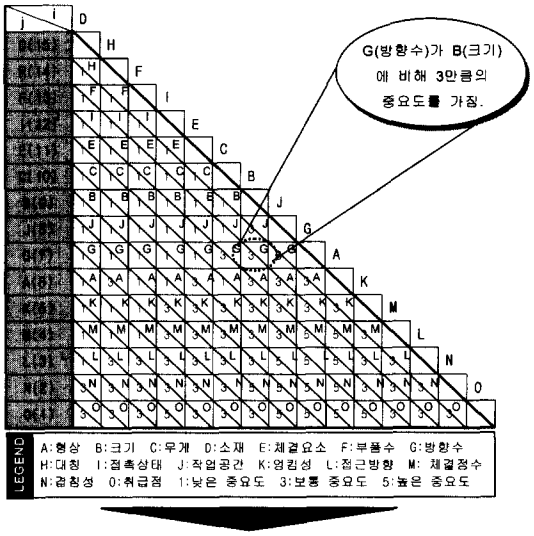
$$IR = \frac{\text{각각의 영향 요소와 상관 접수 합}}{\text{모든 영향 요소의 상관 점수 합}} \times 100(\%) \quad (2)$$

공정별 영향 요소 점수를 산정하여 우선 순위가 결정 되었다(Harutunian *et al.*, 1996). 1순위부터 15순위까지 오름차순으로 정리를 하였다. 가장 높은 우선 순위를 가지는 항목은 공정적 영향 요소인 O(취급점)가 선택되었고, 가장 낮은 순위는 구조적 영향 요소인 D(소재)로 결정이 되었다.



우선순위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
영향요소	O	N	L	M	K	A	G	J	B	C	E	I	F	H	D

그림 6. 영향 요소의 상관관계 및 우선순위.



영향 요소	A	B	C	E	F	G	H
가중치	0.070	0.022	0.019	0.015	0.008	0.040	0.004
영향 요소	I	J	K	L	M	N	O
가중치	0.011	0.033	0.089	0.165	0.155	0.177	0.192

그림 7. 쌍비교를 통한 영향요소의 가중치 결정.

우선 순위가 결정되면 영향 요소들에 적용될 가중치를 구해야 한다. 가중치를 구하는 이유는 조립이 적용되는 경우 공정에 영향을 미치는 정도가 각각 다르기 때문에 가중치를 적용하게 된다(Redford *et al.*, 1994).

각각의 영향 요소를 우선 순위별로 나열을 하고, 서로의 비교를 통해서 중요도를 결정을 하게 된다. 여기서도 앞에서 적용한 등급 형식을 사용하여, 중요도에 따라 점수를 부여하여 전체 점수를 산출하였다. 1점은 중요도의 차이가 작은 것이고, 3점은 중요도의 차이가 보통인 것이며 5점은 중요도의 차이가 큰 것을 나타내고 있다. <그림 7>은 영향 요소별의 중요도를 나타내기 위한 쌍비교 표로써 모든 영향 요소들을 비교 대상으로 선택하고 있다.

쌍비교 표를 이용하여 식 (3)에 의해 가중치를 산정하게 된다.

$$W_{IF} = \frac{\sum_{i=1}^{n} IF_i}{\sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n-1} IF_{ij}} \quad (3)$$

여기서, IF는 영향 요소(influencing factor)를 나타내고 i와 j는 각각 쌍비교를 위한 세로축과 가로축의 영향 요소를 나타낸다. 분모는 중요도 값의 총 합을 말하며, 분자는 각 영향 요소별 중요도의 합을 말한다.

이렇게 하여 구하여진 점수를 가지고 식 (3)에 대입하기 위해 계산을 하면, 총점수는 272점으로 나타나며 각각의 영향 요소에 대한 중요도를 내림차순으로 표현하면 52, 48, 45, 42, ……, 4, 3, 2, 1로 나타나게 된다. 이 값들을 식에 대입하여 가중치 값으로 산정한 것이 <그림 7>의 아래 부분이며, 알파벳

순으로 영향 요소를 다시 배열하여 영향요소의 가중치 값의 정도를 나타내었다. 이렇게 하여 나타난 모든 요소들은 식 (1)에 의해 계산이 된다.

4. 재설계 원칙의 도출 및 평가

제품의 설계는 크게 기능 설계, 산업 설계, 생산 설계로 나눌 수 있다. 기능 설계는 제품의 기능을 향상시키기 위한 설계 개념으로서 제품의 기능, 제품의 구조 측면을 고려한다.

산업 설계는 소비자의 다양한 기호와 제품의 사용 방법을 고려하여 설계하는 것이며, 생산 설계는 생산자가 제품 생산을 용이하게 하기 위하여 설계하는 것으로 생산 시간의 단축, 생산 비용의 절감을 목적으로 한다.

4.1 영향 요소에 대한 재설계 원칙

<그림 8>은 구조적 영향 요소에 대한 설계 원칙과 공정적 측면의 영향 요소에 대한 설계 원칙을 나타내고 있다.

구조적 영향 요소 중에 형상에 대한 재설계 원칙을 살펴보면, 삽입 방향이 용이한 형상 설계, 놓임 안정성을 고려한 형상 설계, Gripping을 위한 추가 형상 설계, 형상의 단순화, 돌출 부위를 줄일 수 있는 설계, 위치 결정을 유도하는 부품 형상 설계가 있다. 또한 공정적 측면 영향 요소 중 체결에 관한 재설계 원칙은 체결 시간을 줄일 수 있도록 설계, 부품의 표준화, 체결점을 줄이는 설계, 삽입을 위한 가이드면의 설계, chamfer 혹은 rounding의 설계, 체결이 수평 수직만 이용하도록 설계, 알려져 있는 체결 방법의 사용, 삽입 길이의 최소화가 재설계 원칙

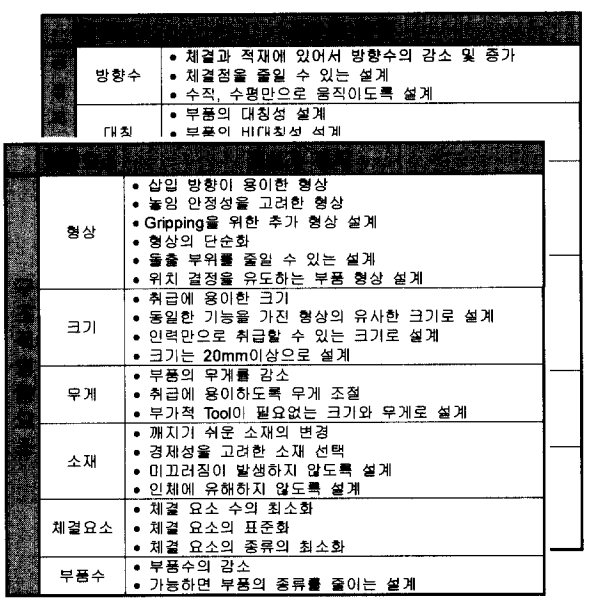


그림 8. 구조적/공정적 측면의 영향 요소의 재 설계 원칙.

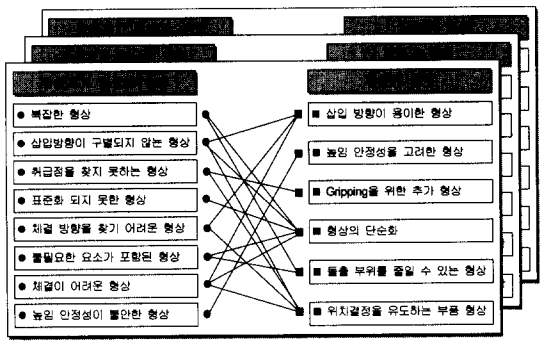


그림 9. 기준에 의한 재설계 원칙의 예.

으로 제시 하였다. <그림 9>는 기준에 따른 재설계 원칙의 예를 보여주고 있다. 형상의 경우에 5가지의 재설계 원칙들을 8가지의 세부기준에 해당 될 때, 각각의 설계 원칙을 적용하여 제품의 재설계를 이루게 되는 것을 보여주고 있다.

5. 개선 조립 공정의 평가

보통의 경우 개선된 조립 시스템 대안의 평가는 객관적인 분석이나 절차 없이 최고 의사결정자, 즉 최고 경영자의 의견에 좌우되거나, 그 동안의 노하우에 의해 결정되는 경우가 많다. 이러한 경우는 과다한 투자 자본, 인력, 시간이 낭비되는 경우가 많다. 또한 이렇게 했을 경우 개선된 조립라인이 재기능을 발휘하지 못해 생산성을 저하시키는 경우를 초래하는 경우가 많다. 본 논문에서는 설정된 개선된 조립 공정의 대안들에 대하여 라인의 효율과 평준화 지수를 사용하여 평가하고자 한다. 라인 효율이라고 하는 것은 라인이 어느 정도의 효과적으로 기능을 발휘하느냐 하는 것이다. 즉, 라인 효율은 총 조립 시간을 Tact Time과 작업자의 수의 곱으로 나눈 값이다 (Redford *et al.*, 1994). 라인 효율을 구하는 식은 식 (4)와 같이 표현 할 수 있다(Elsayed *et al.*, 1994).

$$LE = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{n} T_i}{K \times CT} \right\} \times 100(\%) \qquad (4)$$

여기서 LE(Line efficiency)는 라인 효율, K는 작업자 수, CT는 사이클 타임, n은 조립 공정 수, T는 각 작업자의 조립 시간을 나타내고 있다. 여기서 K는 작업자의 수를 말하는데 작업자 수를 구하기 위해서 식 (5)와 같은 식이 필요하다.

$$K = \left\lceil \sum_{i=1}^{n} T_i / CT \right\rceil \qquad (5)$$

또 하나의 평가 기준인 평준화 지수는 어느 정도의 편차를 가지고 있는지를 평가하는 것으로써 평준화 지수가 높은 것은 작업자들 간의 작업 시간이 차이가 나고, 그에 따라 재공품의 재고가 누적되는 현상이 발생하게 된다(Boothroyd, 1992). 그

러므로 평준화 지수는 낮을수록 흐름이 안정적이고 또한 한발 앞서 나가서는 생산성이 높다고 판단을 할 수 있다. 식 (6)은 평준화 지수를 구하는 식을 나타내고 있다.

$$SI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K}(T_{\max} - T_i)^2}{K}} \qquad (6)$$

SI(Smoothness Index)는 평준화 지수를 나타내고, $T_{\max}$는 작업자의 평균 작업 시간을 나타낸다. 평준화 지수는 각 작업자의 작업시간의 분산정도를 표시하는 값이다. 이러한 지표들은 하나 이상의 조립라인 대안들을 비교할 때 유용하게 사용될 수 있는 평가 기준이 된다. 즉, 이것은 라인의 밸런싱이 잘 이루어졌는지를 판정할 수 있는 좋은 기준이기도 하다.

6. 사례 연구

본 논문에서는 건설 현장 및 제조 산업체 또는 가정에서 많이 사용되는 줄자를 연구대상으로 선정하였다. 줄자는 사용하는 곳에 따라 많은 종류의 제품이 존재하지만 본 연구에서는 가장 널리 사용되는 포켓 줄자를 대상으로 선정하여 사례 연구를 실시하였다.

줄자는 <그림 10>과 같이 3개의 조립군과 총 14개 종류의 18개 부품으로 구성된다. 조립군은 케이스 조립군, 보빈 조립군, Steel Tape 조립군으로 분류된다. 케이스 조립군은 상 · 하 케이스, 스토퍼, 고정핀, 볼트(3), 라벨의 6개의 부품으로 구성된다. 보빈 조립군은 상 · 하 케이스, 스프링, 분리심보 등 4개의 부품으로 구성되며, Steel Tape 조립군은 Steel Tape, Hook, 리벳(3), 보강판 등 4개의 부품으로 되어있다.

대부분의 소재가 플라스틱으로 이루어져 있으며, Steel Tape와 스프링만이 철 소재로 이루어진 것이 특징이다. 제품에 대한 part list를 작성하고 논문에서 제시된 내용을 적용하여 <그림 11>과 같이 보빈 조립군의 조립 공정에서의 각 영향 요소별 취약 점수를 구하였다. 이렇게 취약 공정을 분석하여 최종 취약한 영향 요소를 파악하고, 그에 대한 설계 원칙을 제시하여 제품을 재설계하게 된다.

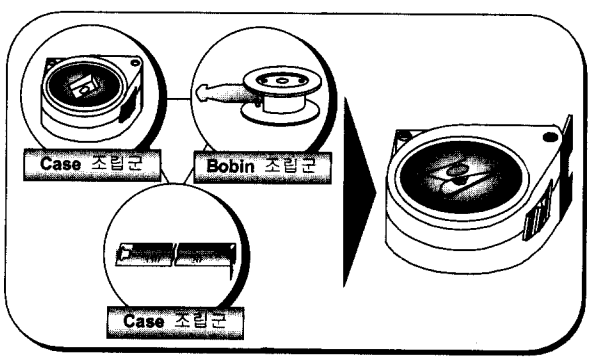


그림 10. 줄자 조립군.

보빈 조립군	A	16×(7.0×0.46)	**12.540**
	B	5×(5.9×0.05)	0.414
	C	1×(4.5×0)	0
	D	1×(4.0×0)	0.016
	E	3×(5.6×0.32)	0.185
	F	1×(6.6×0.01)	0.046
공정요소별	G	9×(7.0×0.26)	3.960
	H	8×(5.4×0.14)	1.555
	I	6×(5.0×0.06)	0.540
	J	8×(5.6×0.18)	1.926
	K	7×(5.9×0.08)	0.909
	L	14×(8.8×0.38)	**10.718**
	M	24×(9.4×1)	**50.760**
	N	18×(9.4×0.95)	**36.209**
	O	17×(10.3×0.64)	**25.390**
		합계	**145**
		평균	**9.667**

LEGEND: A:형상 B:크기 C:무게 D:소재 E:체결요소 F:부품수 G:방향수 H:대칭 I:접촉상태 J:작업공간 K:엉킴성 L:접근방향 M:체결점수 N:겹침성 O:취급점

그림 11. 영향 요소별 최종 취약 점수.

취약함의 기준을 평균 취약 점수 이상의 점수를 갖는 영향 요소를 최종 취약 영향 요소로써 결정을 하였다. 그리고 최종 취약 점수가 높을수록 취약 정도가 높기 때문에 개선의 여지가 있는 공정이라고 할 수 있다. 이러한 공정에 관련된 제품을 재설계원칙을 이용하여 재설계가 이루어지면, 취약점을 해소하여 생산성 향상에 기여하게 된다. 이러한 취약 점수에 따라 취약하다고 판정된 영향 요소에 대해 재설계 원칙을 적용하게 된다. <그림 12>는 취약 영향 요소의 재설계원칙을 보여주고 있다. 형상, 접근방향, 체결점수, 겹침성 등에 대한 재설계 원

영향요소	재설계 원칙
형상	• 삽입 방향이 용이한 형상 • 놓임 안정성을 고려한 형상 • Gripping을 위한 추가 형상 설계 • 형상의 단순화 • 돌출 부위를 줄일 수 있는 설계 • 위치 결정을 유도하는 부품 형상 설계
접근방향	• 접근방향의 단일화 • 접근방향의 최소화 • 가능한한 접근 방향을 중력 방향 설계 • 작업자의 기계의 체결방향과 같은 방향으로 설계 • 학습화된 접근 방향으로의 설계
체결점수	• 체결점수의 최소화 • 체결점의 방향의 동일화 • 체결점수에 맞는 비대칭성 구조 설계 • 체결점의 통합화
겹침성	• 비대칭성과 대칭성을 고려한 설계 • 겹침성을 최소화하는 설계 • 겹침성의 장점을 살릴 수 있는 설계 • 겹침 방향의 동일화 설계 • 겹침성의 제거
취급점	• 취급점의 시각화를 위한 설계 • 취급점의 방향 동일화 • 취급이 용이한 취급점 설정 • 취급점 수의 최소화 • 다양한 취급점을 유도 • 대칭성, 비대칭성을 강조

그림 12. 취약 영향 요소의 재설계 원칙.

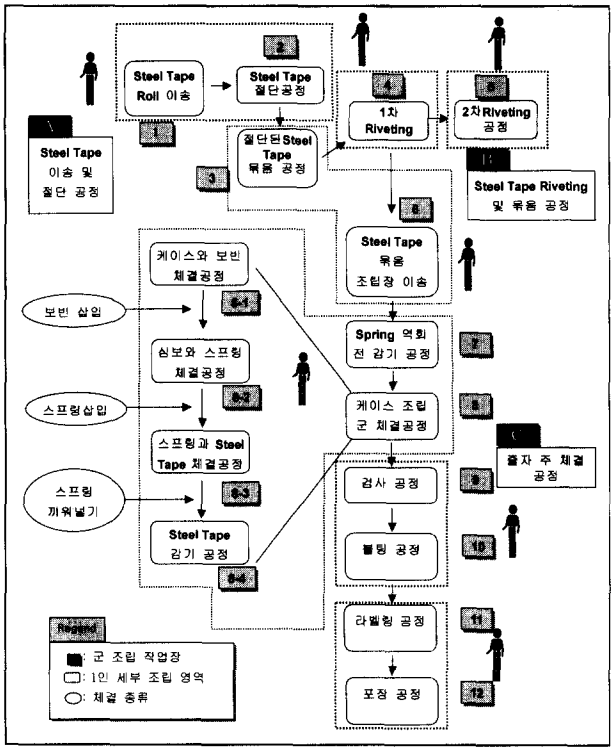


그림 13. 개선 전 조립 라인.

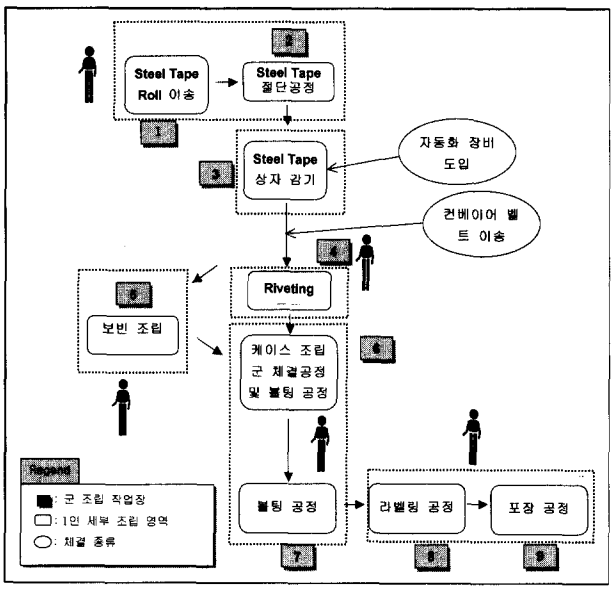


그림 14. 개선 후 조립 라인.

칙을 제시하고 있다.

취약한 공정을 재설계를 통해 재설계가 이루어 지고 이것을 전체적인 라인을 통해서 평가가 된다. <그림 13>과 <그림 14>는 개선전/후의 조립 라인을 보여주고 있는 것으로 개선의 효과는 라인의 효율과 평준화 지수를 통해서 평가된다.

재설계를 통해서 얻어진 개선 조립라인은 현 조립라인보다 6개의 공정이 줄어 들었고, 작업자의 수도 7명에서 5명으로 감소한 것을 볼 수 있다. 작업자 수가 2명 감소한 것은 6번 조립 공정(케이스 조립군 체결 공정)이 장비를 이용한 자동화를 통해 이루어졌다.

4절에서 언급한 것처럼 가장 많은 작업을 행하는 작업자의 소요시간을 사이클 타임으로 정하고 있기 때문에 8, 9번 작업을 수행하고 있는 작업자가 52초로 가장 많은 시간을 소비하고 있다. 그래서 사이클 타임은 52초가 된다. 이렇게 사이클 타임이 나오면 식 (4)에 의거하여 라인 효율을 구할 수가 있다.

$$LE = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{n} T_i}{K \times CT} \right\} \times 100(\%)$$
$$= \frac{(20+12+18+35+44+20+30+15+37)}{5 \times 52} \times 100(\%)$$
$$= 88.8\%$$

이것을 기존의 공정들이 있는 라인의 효율과 비교해보면, 기존 라인의 경우 작업시간이 57초로 가장 길기 때문에 이 시간을 사이클 타임으로 정하게 되고, 총 7명의 작업자가 라인에 투입 되고 있기 때문에 기존의 라인효율(LE)은 70 %로 계산된다.

따라서, 개선된 라인의 효율은 개선안이 18.8 % 상승했음을 알 수 있다.

여기서, 작업자와 작업의 할당이 얼마나 싸이클 타임 내에서 균등하게 배치 되어 있는 지를 확인하기 위해, 본 논문에서는 식 (6)에서 제시한 평준화 지수를 사용하여 하나의 정량화된 값으로 다시 한번 평가를 실시하였다.

$$SI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K} (T_{\max} - T_i)^2}{K}}$$
$$= \sqrt{\frac{(52-50)^2 + \cdots + (52-52)^2}{5}} = 8.5$$

즉, 개선된 공정으로 배치된 라인의 지수가 8.5인 것을 나타내고 있다. 이에 비해 기존 라인에서의 평준화 지수값은 21.3이다.

기존 공정과 재설계를 통해 얻어진 개선 공정으로 이루어진 기존 라인과 개선라인의 작업 할당과 라인효율, 평준화 지수의 변화를 <그림 15>에 나타내었다. 이렇게 제품 재설계가 라인의 전체적인 공정에도 개선된 변화를 주고 있음을 알 수 있다.

7. 결 론

본 논문에서는 대부분 수 조립으로 일어나고 있는 조립 공정에서 취약한 공정을 찾아내고, 이에 맞는 제품 재설계원칙을 적용하여 새로운 제품 및 공정의 대안을 제시하였다. 먼저 현재의 공정에서 조립되고 있는 제품의 특성을 분석하였다. 그

	개선 전	개선 후
작업자 수	7 명	5 명
총 조립시간	305 초	231 초
라인효율(LE)	70 %	88.8 %
평준화지수(SI)	21.3	8.5

그림 15. 현라인과 개선라인의 작업할당 및 라인 효율 비교.

리고 공정상의 취약한 부분을 영향 요소별로 찾아내어 재설계 원칙을 적용하여 그에 맞는 대안을 제시하였다.

그리고 재설계된 제품을 통해 변화된 공정의 평가를 위하여 라인효율과 평준화 지수를 사용하였다. 그리고 사례 연구로써 줄자를 대상으로 작업시간과 작업자에 대한 자료를 분석하여 본 논문에서 제시하고 있는 재설계 원칙을 적용하여 재설계 원칙의 적용이 타당함을 평가하였다.

본 논문에서의 정량화된 결과값은 전문가의 경험적인 평가로써 전문가들의 경험의 차이에 의해 어느 정도의 오차가 발생할 수 있으므로 이에 대한 보충 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

Andreasen, M. M., Kahler, S. and Lund, T. (1988), *Design for Assembly*, IFS Publications, UK, 9-148.

Boothroyd, G. (1992), *Assembly automation and product design*, Marcel Dekker, Inc.

Cross, N., John Wiley and Sons. (1994), *Engineering Design Methods*, 19-76.

Elsayed, A. E. and Thomas, O. B. (1994), Analysis and control of Production Systems, Prentice Hall, 344-402.

Harutunian, V., Nordlund, M., Tate, D. and Suh, N. P. (1996), Decision Making and Software Tools for Product Development Based on Axiomatic Design Theory, *Annals of the CIRP*, **45**, 135-139.

Lotter, B. (1989), Manufacturing Assembly Handbook, Butterworths, 303-383.

Mok H. S., Shin H. C. and Pyo S. T. (1999), A study for flexibility and automation of a tapeline assembly process, Comeron co., 1-67.

Automobiles, N. N. and Peugeot. (1988), The front sub-assembly, *Automotive Technology International.*

Automobiles, N. N. and Mazda. (1989), Flexible Car design for diverse need, *Automotive Technology International.*

Pahl, G. and Beitz, W. (1991), Engineering design, a systematic approach, Spinger-Verlag, New York.

Redford, A. and Chal, J. (1994), Design for Assembly, McGraw-Hill, Inc., 75-134.

Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D. (1995), Product Design and Development, McGraw -Hill, Inc., 13-32.