

# 소형 제품에 있어 조립 생산성 향상을 위한 취약 공정 평가 시스템

목 학 수\*, 황 건 용\*, 조 종 래\*

## Evaluation System of Weak Process for Assemblability in Small-sized Product

Hak-Soo Mok\*, Gun-Yong Hwang\*, Jong-Rae Cho\*

### ABSTRACT

In this paper, on the basis of factory rationalization, the detection and evaluation system of weak assembly process was developed to analyze the processes for improvement of assembly productivity in the current assembly system. Using this detection and evaluation system of weak assembly process, the weak degrees of assembly process were quantitatively calculated. In this system, the improved design rules were constructed for assemblability and the redesign alternative was presented for elimination of weak process. After review of the redesign alternative, it was applied to the actual assembly system.

**Key Words** : weak process(취약 공정), assemblability(조립 용이성), evaluation system(평가 시스템)

### 1. 서 론

오늘날 국내의 제조업체는 지난 80년대 이후로 매우 치열한 경영 환경에 처해 있다. 원화가 절상되고 임금과 금리가 인상되며, 제품 수명이 단축되고, 기업간 경쟁의 심화, 국내 시장의 개방 압력 등 여러 요인이 현 기업들의 변화와 개선을 요구하고 있다. 이에 따라 기업들은 원가 절감, 품질 향상 등을 통한 국내의 경쟁력의 비교 우위를 확보하기 위하여 과잉 생산 및 과잉 재고를 없애고, 작업 방법의 변경, 공정 불균형의 제거, 효율적인 기계/인원 배치, 품질 관리 등 공장 합리화를 추진하고 있다<sup>(1)</sup>.

공장 합리화의 추진 전략은 기업이 현재 처해 있는 상황에 따라 그 설정이 달라질 수 있는데, 크게 품질의 개선, 비용의 최소화, 작업 환경 개선, 유연성의 향상, 생산성 향상 등이 대표적인 전략 목표라 할 수 있다<sup>(2)(3)</sup>. Fig. 1은 연구의 목표와 필요성을 보여주고 있으며, 연구 범위는 Lot size가 크고 제품의 크기가 작은 소형 제품으로 선정하였다.

본 연구에서는 여러 전략 목표 중 생산성 향상에 근거하여 제조 현장에서의 낭비 요소를 최소화하고 공정 지연을 줄이는 등 최종적으로 조립시스템과 제품의 구조 개선을 위하여, 현재의 조립시스템에 있어 균형의 손실을 일

\* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소

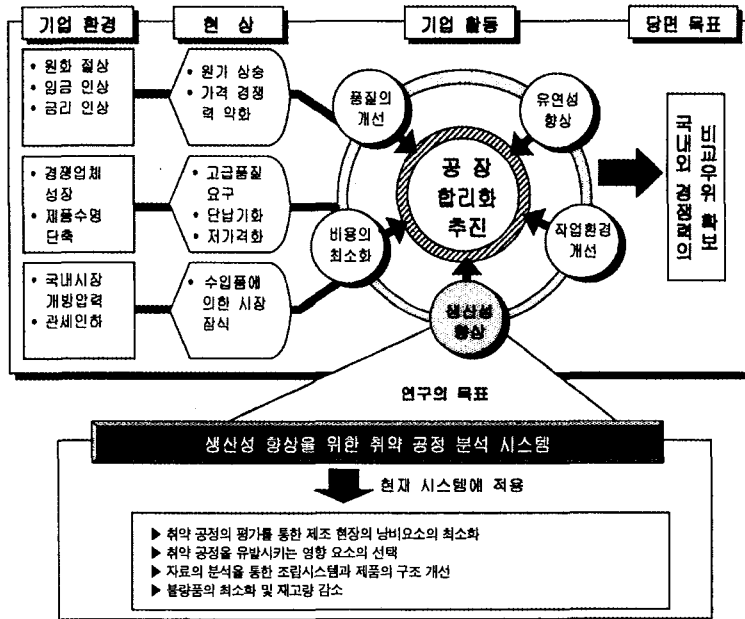


Fig. 1 연구의 필요성 및 목표

오리고 취약하다고 판단되는 공정을 선별하고 이를 개선할 수 있는 설계 원칙들을 제시하여 취약 공정의 분석, 평가 체계를 구축하고자 한다.

## 2. 조립 공정의 분석

개개의 생산 작업을 수행하는 기계와 작업자의 조합이 결정되고, 인간의 역할과 조립 시간이 설정되면 실제로 작업이 수행되어진다. 일반적으로 기업에서의 실제 조립은 작업의 특성을 고려한 일련의 표준 작업서를 바탕으로 이루어진다. 각각의 기업마다 차이는 있지만 보통 표준 작업서에 공통적으로 기록되어지는 내용은 조립 공정명, 공정 번호, 사용 설비명, 사용 부품, 소요 시간에 따른 목표 수량, 사용 치공구, 작업 순서 등으로 각각의 공정에 따른 사양들이 포함되어진다<sup>(4)</sup>.

조립의 단위 공정은 이러한 작업 표준서로 구분되어지는 공정의 단위를 말하며, 요소 작업은 조립의 단위 공정을 작업 순서를 바탕으로 최소의 기능을 가지는 미세 동작으로 구분하여 나타낸 조립의 최소 기능 동작 단위를 말한다. Fig. 2에서는 실제로 모터의 생산 공정 중 "Sheet plate반조립"이라는 단위공정에 적용시켜 요소 작업으로 세분화하여 time table을 작성한 예를 보여주

고 있다.

어느 시스템 영향 요소가 취약하다는 의미는 각 단위 공정에 따른 요소 작업들에 대하여 조립 생산성을 결정하는 시스템 영향요소가 시스템의 성능을 저하시키는 요인으로 작용되어질 때를 말한다. 그리고 취약 공정이라 함은 앞으로 제 3 절에서 각 단위 공정 별 취약 정도의 산출 기법이 설명되었지만 일련의 공정 중 평균 취약 점수보다 큰 취약 점수를 가진 단위 공정을 취약 공정이라 정의를 내렸다<sup>(5)</sup>.

## 3. 시스템 영향요소의 선별과 등급의 분류

조립시스템은 조립 대상, 조립 공정, 조립 수행체의 유기적 관계에 의해 구성되어진다<sup>(6)</sup>. 조립 대상은 실제 조립에 사용되어지는 부품이나 조립군을 의미하며, 조립 공정은 부품이나 조립군을 최종 제품으로 완성하기 위하여 행해지는 제반 활동을, 조립 수행체는 조립 공정을 수행하는 작업자, 기계, 공구를 의미한다. 이러한 세 가지 측면을 고려해서 각각의 기업은 공장합리화 전략 목표와 조립 시스템의 자동화 정도에 부합하여 실정에 맞는 조립 시스템 영향 요소를 선별할 것이며 각 기업마다 영향 요소의 선별에 있어서 서로 차이가 있을 수도 있다. 예를 들어 기

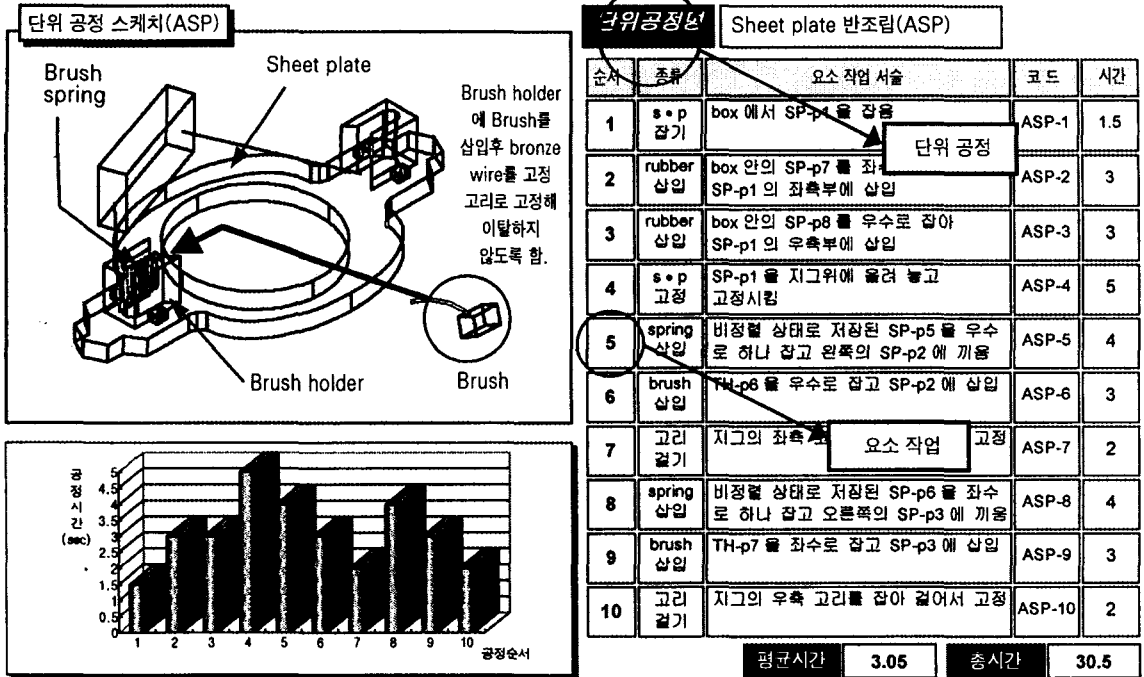


Fig. 2 조립의 요소 작업과 단위(Sheet plate 반조립공정)

업이 품질의 개선을 전략 목표로 설정할 경우에는 정밀도나 기계/인간 신뢰성, 표준 부품의 사용 여부 등이 중요 영향 요소로 작용할 것이며, 반면 조립 시스템의 자동화율이 아주 높으면 작업자에 의한 실수나 취급성, 접근성 등은 그다지 중요한 영향 요소가 아닐 수도 있을 것이다. 본 연구에서는 Lot size가 큰 소형 제품의 조립 생산성 향상을 전략 목표로 두고 있으며 이에 따른 시스템 영향 요소를 선정하였다.

### 3. 1. 조립 시스템 영향 요소의 선별

조립 공정이 수작업으로 진행된다면, 작업자는 부품 펠릿으로부터 부품이나 조립군을 가져와 손이나 공구를 이용해 조립 작업대에서 조립을 수행한 후, 다음 공정을 위해 적절한 장소로 이동시킬 것이다. 조립 공정이 자동화되어 있다면, 이송 장치로 운반되어진 부품이나 조립군은 조립 기계에 의하여 조립이 수행되며 작업자는 단지 감시 역할과 기계 작동 등을 통제한다. 이와 같이 조립 공정은 자동화 되어 있는 수작업으로 행해지든, 기본적으로 실제 조립을 위해 부품을 취급하고 운반하며 조립이 끝난 후 다시 다음 공정으로 운반하고 저장하는 조립 보조 영역과

실제적으로 삽입 후 체결이 이루어지는 실제 조립 영역으로 구분 지을 수 있다. 다시 말해 조립 보조 영역이란 실제 조립을 위해 조립대상이나 보조 공구를 운반하고 취급하는 요소 작업들을 말하며, 실제 조립 영역은 체결, 삽입, 채워넣기, 폐인팅 등의 활동을 실제로 취하는 요소 작업들을 말한다. 그러나 조립을 보조하기 위하여 고정구나 조립 기계에 부품이나 조립군을 고정시키는 등의 작업은 엄밀히 조립 보조 영역이라 볼 수 있지만, 원활한 조립을 수행하기 위하여 일차적으로 고정구나 조립 기계 등에 조립 대상을 정렬하여 고정시키는 작업으로 판단해 실제 조립 영역으로 포함시켰다. Fig. 3은 요소 작업을 두 가지 영역으로 구분한 후 조립 대상, 조립 공정, 조립 수행체 측면 각각에 대한 조립 시스템에 대한 영향 요소들을 나타내고 있다.

### 3. 2. 조립 시스템 영향 요소별 취약 공정 등급의 분류

조립 보조 영역과 실제 조립 영역에 대한 조립시스템 영향 요소들이 선정되고 나면 단위 공정별 취약 점수의 계산을 위해 가장 먼저 수행해야 할 사항은 요소 작업들을 각 영향 요소들의 취약 정도에 따라 등급을 분류해 점

조립 시스템 영향 요소	
조립 보조 영역	실제 조립 영역
<b>조립 대상 측면</b> 1. 크기/무게/두께 2. 미끄러움/끈적임/부스러짐(파손가능)/호는적거림 3. 영림/겹쳐붙음 4. 형상위험/잡힐점 5. 유해물질함유	1. 크기/무게/두께 2. 미끄러움/끈적임/부스러짐(파손가능)/호는적거림 3. 다른 부품과 영림 4. 형상위험/잡힐점 5. 유해물질함유 6. 대칭성/비대칭성/모따기 7. 공차/정밀도
<b>조립 방법 측면</b> 1. 취급특성 (잡기/놓기/지지하기) 2. 운반특성 (조립지점 이동하기/다음공정 이동하기/장애물/운반거리)	1. 체결점파악/접근 2. 정렬/상임 3. 조립인정성 4. 체결력 5. 부품손상
<b>조립수행체 측면</b> 1. 작업영역 2. 작업자실수/작업자위험/기계고장 3. 보조 공구의 사용	1. 작업영역 2. 작업자실수/작업자위험/기계고장 3. 조립 보조 공구의 사용

Fig. 3 조립 보조 영역과 실제 조립 영역에 따른 시스템 영향요소

수를 부여하는 것이다. 요소 작업에서의 취약 정도의 등급은 각 영향 요소의 대표적인 취약 특성에 따라 작성한 취약 등급 분류표들을 참조해 선택되어질 수 있도록 하였고, 각 취약 등급은 비교적 정성적인 내용으로 작성되어졌으므로 숙련된 작업자나 경험있는 관찰자의 판단이 어느 정도 개입되어 질 수도 있다. Fig. 4는 "체결점 파악/접근성"이라는 영향 요소에 대한 취약 등급 분류표의 예를 보여주고 있다.

취약 등급의 분류는 모든 조립 시스템 영향 요소들에 대해 조립 작업의 취약 정도에 따라 3단계 등급으로 구분하였고, Fig. 4에서 볼 수 있듯이 취약함이 전혀 없다고 판단될 경우에는 1등급을, 취약함이 심각하게 발생하여 요소작업에 큰 영향이 미칠 경우에는 3등급을, 그리고 그 중간에 속한다고 판단될 경우에는 2등급을 부여하였다. 이러한 등급에 따른 취약 점수는 1등급일 경우에는 0점을, 2등급일 경우에는 2점을, 3등급일 경우에는 4점을 주었다. 그러나, 개인의 주관을 줄이고 보다 객관적인 결과치를 얻기 위하여 각 시스템 영향 요소들간의 중요도 평가와 상관 관계 평가를 통한 가중치를 산정하여 기존의 취약 등급 점수와 함께 고려했다.

체결점 파악 장애	<p>체결점의 형태가 유사하여 체결점 파악에 장애 요인으로 작용</p>	<b>체결점 파악 장애 (A)</b> 부품이나 조립군을 체결점으로 접근시키려고 할 때 정확한 체결 부위 파악이 힘들거나 다른 장애물로 인해 체결점을 정확히 확인할 수 없을 경우 발생하는 장애
		<b>거시적 접근 장애 (B)</b> 부품 및 조립군이 체결점으로 접근할 때 한 방향으로 직접 접근하지 못하고 복수 방향으로 접근하거나 구조상 접근 자체가 어려울 경우 발생하는 장애
접근성 장애		<b>미시적 접근 장애 (C)</b> 부품이나 조립군을 정렬하기 위하여 접근하는 공간의 부족으로 인하여 조립수행체의 기능을 충분히 발휘할 수 없는 경우 발생하는 장애
	<b>등급의 분류(체결점 파악/접근성)</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 1 등급 : A, B, C로 인한 취약함이 없음</li> <li>▶ 2 등급 : A, B, C 3 가지 중 한가지의 장애가 발생하여 작업 지연에 어느 정도 영향을 줌</li> <li>▶ 3 등급 : A, B, C 3 가지 중 2 가지 이상의 장애가 발생하여 작업 지연에 지대한 영향</li> </ul>

Fig. 4 조립 시스템 영향요소의 취약 등급 분류(체결점 파악/접근성에 관한 예)

### 4. 조립의 단위 공정 별 취약 정도의 산정

#### 4. 1. 조립의 단위 공정별 취약 점수표 작성

Fig. 5는 각 조립 시스템 영향 요소들의 취약 등급 분류표를 이용해 "Sheet plate 반조립"이라는 단위 공정의 요소 작업별 취약 점수표를 작성한 예를 보여주고 있다. 이 공정을 ASP-1 에서 ASP-10까지 10개의 요소 작업군으로 나누었으며, 조립 보조영역과 실제 조립 영역으로 구분하여 선정된 각 영향 요소에 따라 취약 등급을 기입하였다. 예로, 실제 조립 영역에서 "정렬성/삽입성"은 ASP-6 작업에서는 취약3등급, ASP-7 작업에서는 취약2등급에 해당하며, 취약 등급에 따른 점수 부여 기준에

따라 조립 보조 영역에 해당하는 ASP-1 작업을 제외한 9개의 요소 작업에 대한 총점을 계산한 결과 24점이 부여되었다. 취약 점수가 크다는 것은 해당 영향 요소가 조립의 요소 작업을 수행하는데 있어서 취약함을 크게 발생시킨다는 의미이다.

각 영향 요소별 취약 총점을 구하는 방법은 식(1)과 같다.

$$T_x = \sum_{i=1}^m Pxi \tag{1}$$

여기서,  $T_x$  : 단위 공정에 따른 각 영향 요소의 취약 총점  
( $x$  : 영향 요소 명칭)

취약요소		요소작업 순서		ASP-1	ASP-2	ASP-3	ASP-4	ASP-5	ASP-6	ASP-7	ASP-8	ASP-9	ASP-10	총점
		영역구분		A	A, R	A, R	R	A, R	A, R	R	A, R	A, R	R	
조립 보조 영역	대상 측면	크기/무게/두께		○	○	○		●	○		●	○		4
		재질특성(끈적임...)		○	○	○		●	○		●	○		4
		영킹/겹쳐붙음		●	○	○		●	●		●	●		14
		형상위험/잡힘점		○	○	○		●	●		●	●		8
		유해물질함유		○	○	○		○	○		○	○		0
	공정 측면	취급특성(잡기/놓기...)		○	○	○		●	●		●	●		8
		운반특성(거리/장애물...)		○	○	○		○	●		○	●		4
	수행체 측면	작업영역		○	○	○		○	○		○	○		0
		실수/위험/기계고장		○	○	○		●	○		●	○		4
		보조공구 의사용		○	○	○		○	○		○	○		0
실제 조립 영역	대상 측면	크기/무게/두께		○	○	○		●	●		●	●	○	8
		재질특성(끈적임...)		●	●	●		●	○		●	●	○	16
		다른 부품과 영킹		○	○	○		●	○		●	○	○	8
		형상위험/잡힘점		○	○	○		○	○		○	○	○	14
		유해물질함유		○	○	○		○	○		○	○	○	0
		대칭성/비대칭성/모따기		○	○	○		○	○		○	○	○	12
		공차/정밀도		○	○	○		○	○		○	○	○	10
	공정 측면	재결점파악/접근성		○	○	○		●	●		●	●	○	26
		정렬성/삽입성		○	○	○		●	●		●	●	○	24
		조립안정성		○	○	○		●	●		●	●	○	30
		체결력		○	○	○		○	○		○	○	○	0
		부품손상가능성		○	○	○		○	○		○	○	○	0
	수행체 측면	작업영역		○	○	○		●	●		●	●	○	22
		실수/위험/기계고장		○	○	○		○	○		○	○	○	20
		보조공구의 사용		○	○	○		○	○		○	○	○	6

**Legend**

ASP - 번호 : Sheet plate 반조립 공정의 요소작업 코드    A : 조립 보조 영역    R : 실제 조립 영역  
 ○ : 취약 1등급 (0점 부여)    ● : 취약 2등급 (2점 부여)    ● : 취약 3등급 (4점 부여)  
 (취약 등급이 높을수록 각각의 영향 요소가 요소 작업에 대해 취약함을 많이 발생시킴)

Fig. 5 단위 공정별 취약 점수표(Sheet plate 반조립공정의 예)

$P_{xi}$  : 영향 요소별 취약 등급에 따른 각 요소 작업의 취약 점수(취약등급이 기입안된 공란은 0점 부여)  
 $m$  : 해당 단위 공정의 요소 작업 수

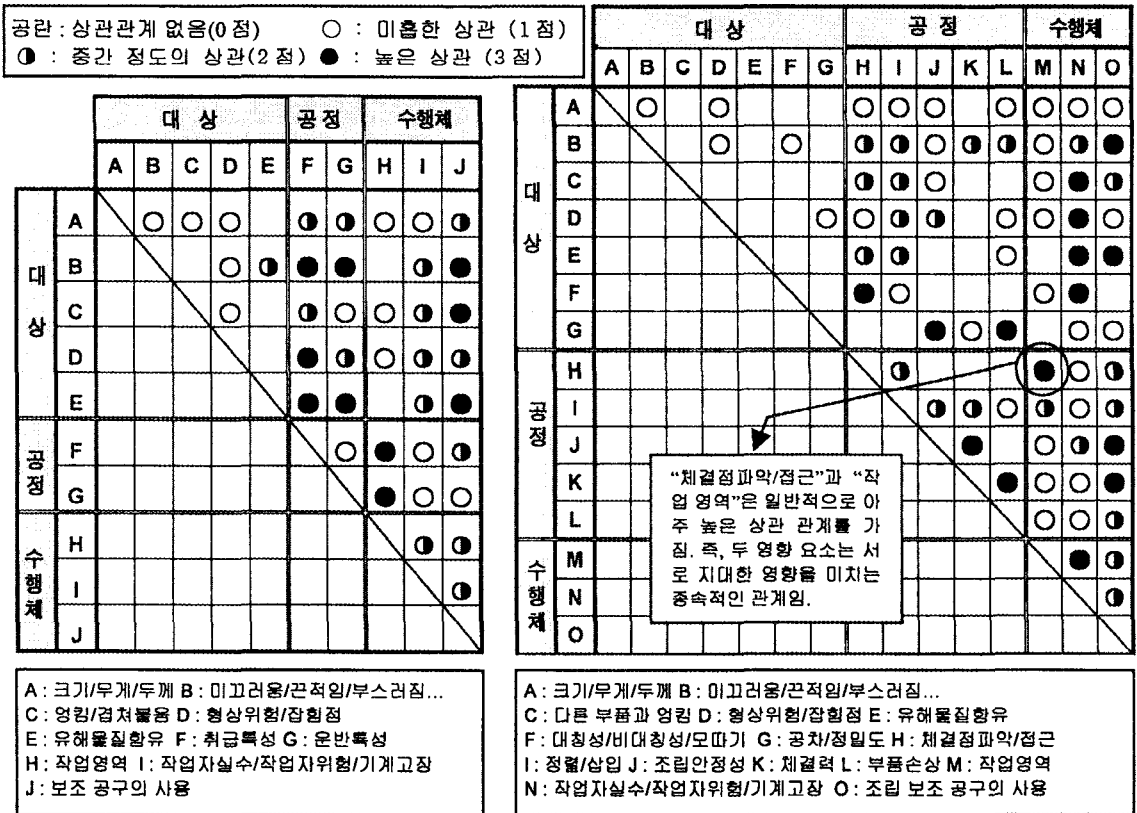
4. 2. 조립 시스템 영향 요소간의 상관관계 분석

조립 시스템 영향 요소들은 각각이 독립적으로 조립 시스템에 영향을 주는 것이 아니라 상호 의존적인 관계에 의해 시스템에 영향을 미친다<sup>(7)</sup>. 따라서, 이들 조립 시스템 영향 요소들간의 상관 관계의 정도 파악은 보다 정확하고 개선의 효과를 크게 발휘할 수 있는 영향 요소를 선별하는데 중요한 역할을 할 것이다<sup>(8)</sup>. Fig. 6은 조립 보조 영역(Fig. 6(a))과 실제 조립 영역(Fig. 6(b))에 대한 시스템 영향 요소들간의 상관 관계를 나타낸 것으로 상관 정도에 따라, 상관 정도가 아주 커서, 한 영향 요소

의 상태가 다른 요소에 지대한 영향을 미칠 경우에는 3점을, 어느 정도 영향을 미친다고 판단될 경우에는 2점을, 비록 미비하지만 서로간에 종속적인 관계가 있다고 판단될 경우에는 1점을 부여하였다. 예로 "체결점 파악/접근성"과 "작업영역"은 높은 상관 관계를 가지므로 3점의 상관 점수를 부여하였다.

4. 3. 단위 공정의 각 시스템 영향 요소별 상관 점수의 계산

취약 점수표에서 취약 총점이 0인 영향 요소들은 해당 단위 공정의 취약함에 전혀 영향을 주지 않는 요소들이므로 이러한 영향 요소들을 제외한 영향 요소들만을 가지고 상관 점수표를 작성할 수 있다. Fig. 7은 Fig. 2의 예로 제시된 Sheet plate 반조립 단위 공정의 조립 보조 영역



(a) 조립 보조 영역

(b) 실제 조립 영역

Fig. 6 조립 시스템 영향 요소간의 상관 관계표

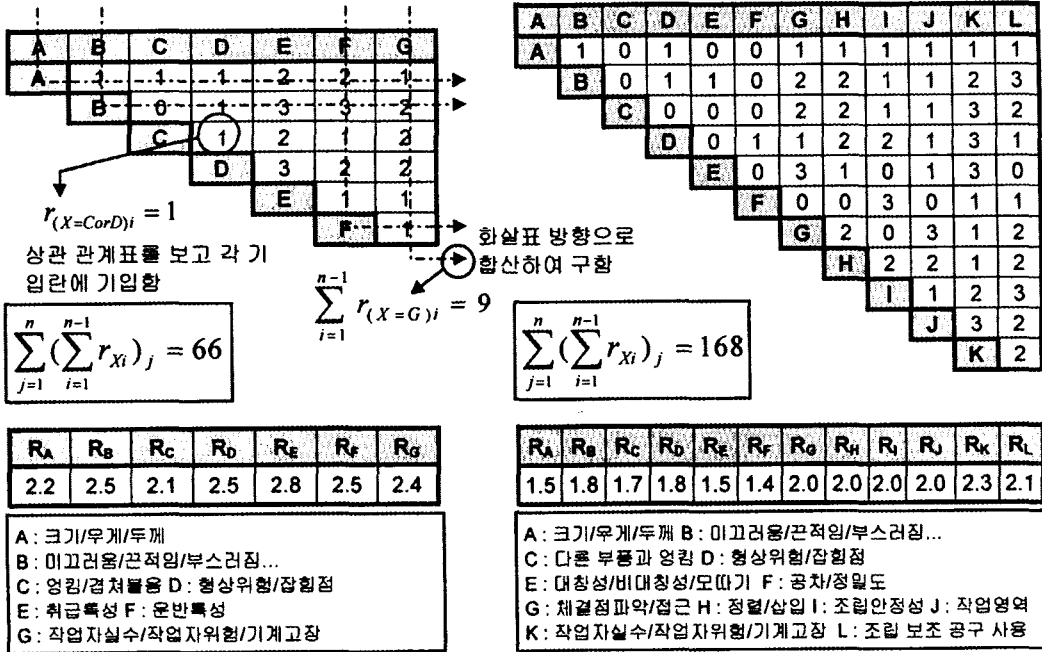


Fig. 7 영향 요소간의 상관 점수표(Sheet plate 반조립공정의 예)

과 실제 조립 영역에 대해 상관 점수표를 작성하여 각 영향 요소별 상관 점수를 구한 예를 보여주고 있다. 조립 보조 영역에서는 취약 총점이 0인 3개의 영향요소를 제외한 7개의 영향 요소들을 가지고 상관 점수표를 작성하였으며, 실제 조립 영역에서는 3개의 영향 요소들을 제외한 12개의 영향 요소를 가지고 상관 점수표를 작성하였다. 상관 점수표의 각 기입란은 미리 작성되어진 상관 관계표를 이용하며, 상관 점수는 다음의 식(2)에 의해 구해진다. 여기서 10을 곱해주는 이유는 상관 점수의 효과를 크게 증가시켜 영향 요소들간의 상관관계 점수가 취약점수에 영향을 많이 끼침을 보여주기 위한 것이고, 1을 더해 주는 이유는 4.5절에서 시스템 영향 요소별 취약 정도의 계산 시에 상관 점수가 0에서 1사이일 경우 취약 정도 값이 줄어드는 것을 방지하기 위한 것이다.

$$R_x = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} r_{xi}}{\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^{n-1} r_{xi})_j} \times 10 + 1 \quad (2)$$

여기서,  $R_x$ : 해당 시스템 영향 요소별 상관 점수

( $x$ : 영향 요소 명칭)

$r_{xi}$ : 상관 점수표에서 해당 영향요소별 각 기입란에 기입되어진 점수

$n$ : 상관 점수표에 이용하는 영향 요소의 수

#### 4. 4. 시스템 영향 요소들의 중요도에 따른 가중치의 산정

단위공정의 수행에 있어 조립 시스템의 영향 요소들이 공정에 영향을 미치는 정도가 각각 다르기 때문에 중요도에 따라 가중치를 구하는 것은 필수적이다. 상관 점수의 계산과 마찬가지로, 취약 점수표에서 취약 총점이 0인 영향 요소들을 제외한 영향 요소들만으로 중요도를 산정할 수 있다. 먼저 각 영향 요소에 A, B, C 등으로 기호를 붙인 후, 각 영향 요소들을 비교해 가며 중요하다고 생각하는 영향 요소의 기호를 해당란에 기록한다. 영향 요소의 중요도의 차이는 1, 2, 3으로 나타내도록 하며, 1인 경우는 차이가 매우 작은 것, 3인 경우는 차이가 큰 것, 2는 중간을 나타낸다. 두 개 중에서 어느 요소가 더 중요하다고 금방 결론을 내릴 수 있다면, 중요도 면에서 차이가 크다는 의미로 해석하여 3을 부여하며, 결정하는데 장시간

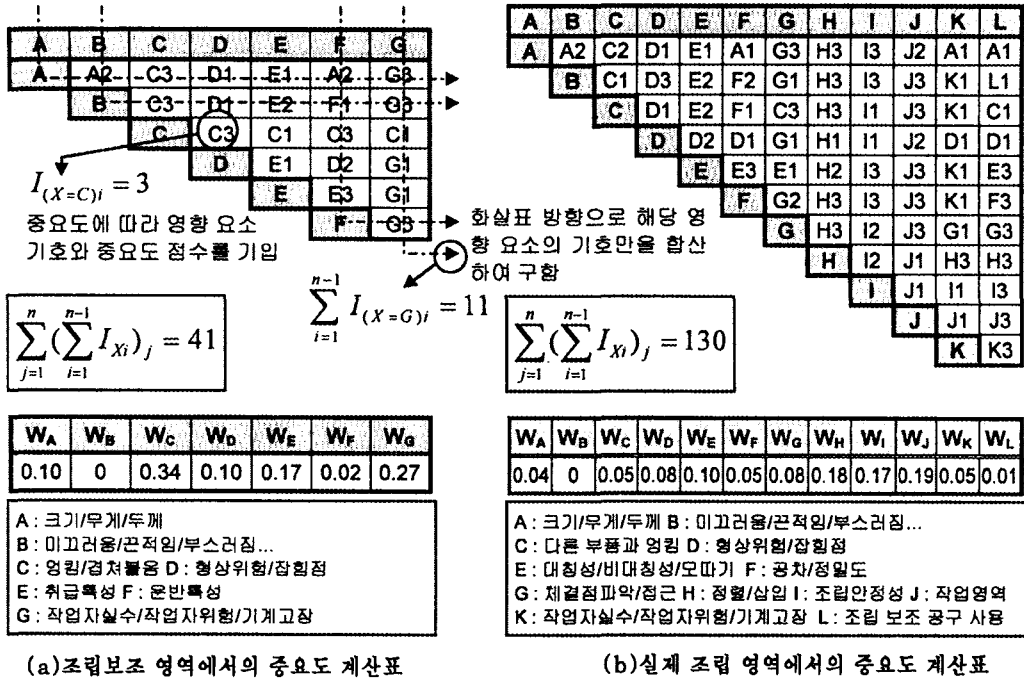


Fig. 8 중요도 계산표(Sheet plate 반조립 공정의 예)

이 필요하다면 중요도의 차이가 적다는 것을 의미하므로 1을 부여한다<sup>9)</sup>.

Fig. 8은 Sheet plate반조립 공정의 조립 보조 영역과 실제 조립 영역에 대해 중요도 계산표를 작성하여 각 영향 요소별로 가중치를 구한 예를 보여주고 있다. 각 영향 요소별 가중치는 식(3)에 의해 구해진다.

$$W_x = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} I_{x_i}}{\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^{n-1} I_{X_i})_j} \quad (3)$$

여기서,  $W_x$  : 해당 시스템 영향 요소별 가중치 ( $x$  : 영향 요소 명칭)

$I_{x_i}$  : 중요도 계산표에서 해당 영향요소별 각 기입란에 기입되어진 중요도 점수 (기입란에 해당 영향 요소의 기호가 아니면 0점이 부여됨)

$n$  : 중요도 계산표에 이용하는 영향 요소의 수

#### 4. 5. 단위 공정에 있어 시스템 영향 요소별 취약 정도 의 계산

다음 식(4)는 단위 공정에 있어 조립 시스템 영향 요소별 취약 정도의 계산식으로 앞서 정의한 식(1), (2), (3)들의 곱으로 계산되어진다.

$$F_x = P_x \times R_x \times W_x \quad (4)$$

여기서,  $F_x$  : 해당시스템 영향요소별 취약정도  
 $P_x$  : 단위 공정에 따른 각 영향 요소의 취약 총점 ( $x$  : 영향 요소 명칭)  
 $R_x$  : 해당 시스템 영향 요소별 상관 점수  
 $W_x$  : 해당 시스템 영향 요소별 가중치

Fig. 9는 Sheet plate반조립 공정에 대해 식(4)를 이용하여 각 영향 요소별로 취약 정도를 계산해 구성 요소별, 영역별로 구분하여 나타낸 것으로 실제 조립 영역의 "조립안정성" 영향 요소는 식(1)에 의하여  $P_x = 30$ , 식(2)에 의하여  $R_x = 2.0$ 을, 식(3)에 의하여  $W_x = 0.17$ 을 구할 수 있으며, 이 들 값의 곱으로 영향 요소의 취약 정도( $F_x$ )는 10.2점이 된다. 또한, 취약 정도의 영향 요소들 중에 음영으로 처리되어진 부분은 공정을 수행하는데 크게 취약함을 발생시키는 영향 요소이므로, 이 단위 공정이 취약 공정으로 선정되어진다면, 이러한 요소를 개



영향요소		취약 정도 계산	영향요소별 취약정도 계산식	취약 정도		
				영향요소	구성요소	영역
조립 보조 영역	대상 측면	크기/무게/두께	$4 \times 2.2 \times 0.10$	0.88	12.88	19.48
		재질특성(끈적임...)	$4 \times 2.5 \times 0$	0		
		영킹/겹쳐붙음	$14 \times 2.1 \times 0.34$	10		
		형상위험/잡힘점	$8 \times 2.5 \times 0.10$	2		
		유해물질함유	0	0		
	공정 측면	취급특성(잡기/놓기...)	$8 \times 2.8 \times 0.17$	3.81	4.01	
		운반특성(거리/장애물...)	$4 \times 2.5 \times 0.02$	0.2		
	수행체 측면	작업영역	0	0	2.59	
		실수/위험/기계고장	$4 \times 2.4 \times 0.27$	2.59		
		보조공구의 사용	0	0		
실제 조립 영역	대상 측면	크기/무게/두께	$8 \times 1.5 \times 0.04$	0.48	5.68	39.47
		재질특성(끈적임...)	$16 \times 1.8 \times 0$	0		
		다른 부품과 영킹	$8 \times 1.7 \times 0.05$	0.68		
		형상위험/잡힘점	$14 \times 1.8 \times 0.08$	2.02		
		유해물질함유	0	0		
		대칭성/비대칭성/모따기	$12 \times 1.5 \times 0.10$	1.8		
		공차/정밀도	$10 \times 1.4 \times 0.05$	0.7		
	공정 측면	체결점파악/접근성	$26 \times 2.0 \times 0.08$	4.16	23	
		정렬성/삽입성	$24 \times 2.0 \times 0.18$	8.64		
		조립안정성	$30 \times 2.0 \times 0.17$	10.2		
		체결력	0	0		
		부품손상가능성	0	0		
	수행체 측면	작업영역	$22 \times 2.0 \times 0.19$	8.36	10.79	
		실수/위험/기계고장	$20 \times 2.3 \times 0.05$	2.3		
		보조공구의 사용	$6 \times 2.1 \times 0.01$	0.13		

Fig. 9 영향 요소별 취약 정도 (Sheet plate 반조립공정)

선할 수 있다. Fig. 10은 Fig. 9의 결과를 그래프로 나타낸 것으로 어떤 요소들에서 취약함이 크게 발생하여 더 많은 주의를 기울여야 하는 지를 쉽게 확인 가능하도록 하였다.

4. 6. 단위 공정별 취약 정도의 계산

최종적으로 해당 단위 공정의 취약 정도를 식(5)를 사용하여 계산할 수 있다.

$$U = \left( \frac{D_A}{N_A} + \frac{D_R}{N_R} \right) \times 10 \quad (5)$$

여기서,  $N_A$ : 취약 점수표에 나타난 조립 보조 영역의 요소 작업수 (Fig. 5. 취약 점수표 참조)  
 $N_R$ : 취약 점수표에 나타난 실제 조립 영역의 요소 작업수

$D_A$ : 조립 보조 영역의 취약 정도 ( Fig. 9. 영역별 취약 정도 참조)

$D_R$ : 실제 조립 영역의 취약 정도

Sheet plate 반조립 공정에 대해 식(5)를 이용하여 취약 정도를 계산해 보면,  $N_A = 7$ ,  $N_R = 9$ ,  $D_A = 19.48$ ,  $D_R = 39.47$  이므로,  $U_{SIP} = \left( \frac{D_A}{N_A} + \frac{D_R}{N_R} \right) \times 10 = \left( \frac{19.48}{7} + \frac{39.47}{9} \right) \times 10 = 71.68$  이다. 이렇게 구해진 값은 자체적으로는 의미가 없지만, 다른 단위 공정들도 값은 기법으로 평가되고 계산되어지므로, 비교 분석을 통한 취약 공정의 선별에 중요한 역할을 한다.

4. 7. 취약 공정의 선별 및 개선 우선 순위 결정

Fig. 11은 전체 조립 공정에 대하여 각각의 단위 공정

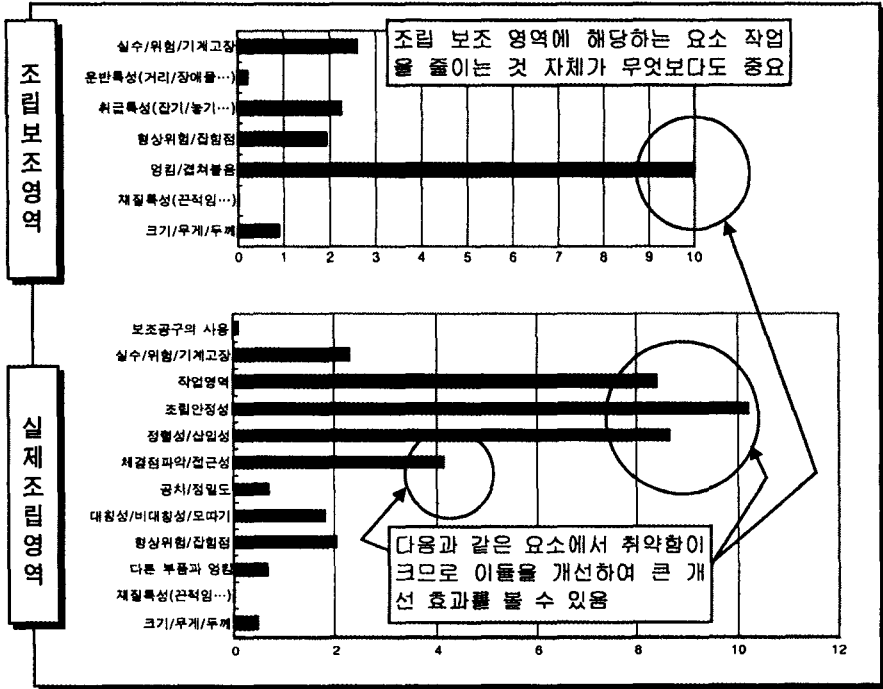


Fig. 10 영향 요소의 취약 정도 그래프(Sheet plate 반조립공정의 예)

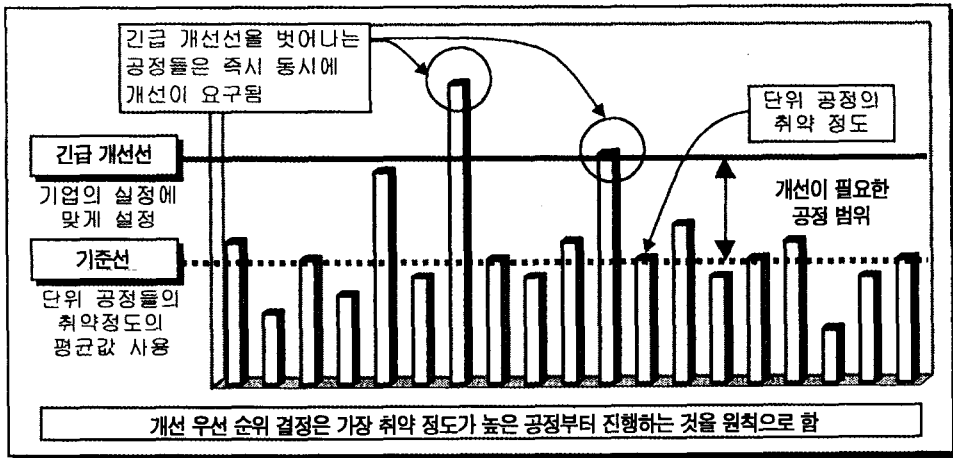


Fig. 11 취약 공정의 개선 우선 순위 결정 그래프

별 취약 정도를 워크 시트에 타점하여 나타낸 그래프이다. 단위 공정들의 평균값을 기준선으로 설정하여 이 값보다 큰 값들은 개선이 필요한 공정이라고 판단되며, 치명적인 공정 손실을 막기 위하여 긴급 개선선을 설정하여 이 개선선을 벗어나는 공정에 대해서는 바로 개선이 이루어지도록 조치를 취해야 한다. 긴급 개선선은 품질 관리

의 관리 한계선을 응용하여 기업의 실정에 맞도록  $\sigma$ ,  $2\sigma$ ,  $3\sigma$  등으로 설정하여 나타낼 수 있다. 취약 공정의 개선 우선 순위 결정은 전체 조립 공정을 그래프로 나타내었을 때 가장 취약 정도가 높은 공정부터 진행하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 기업에서 설정한 긴급 개선선을 벗어나는 취약 공정이 여러 개 존재한다면 많은 인

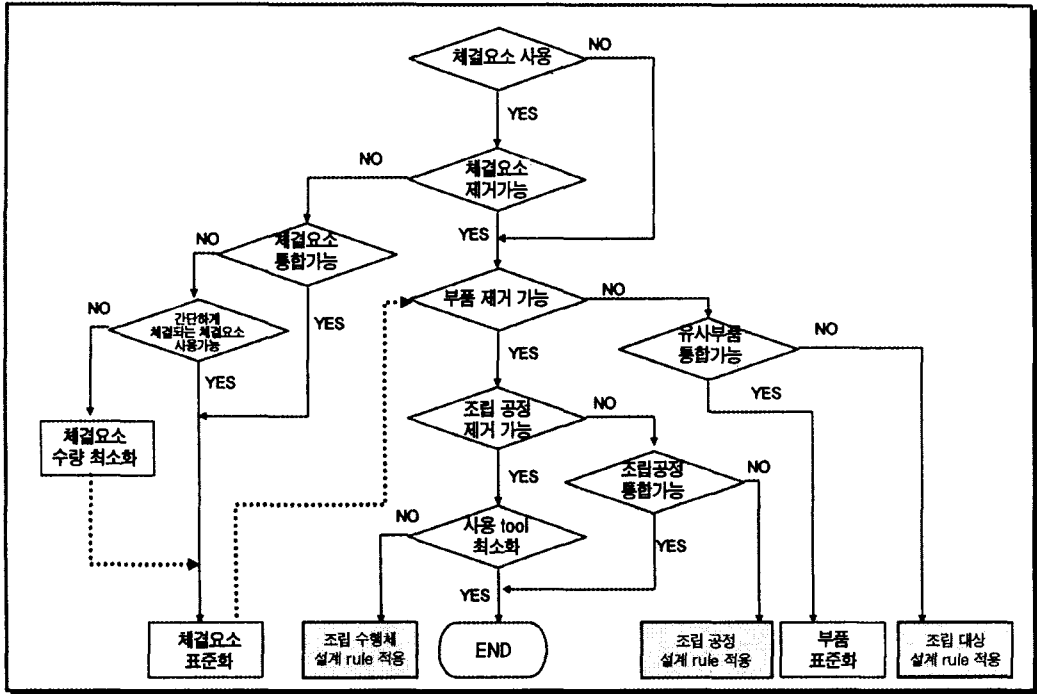


Fig. 12 실제 조립 영역의 재설계를 위한 알고리즘의 흐름도

력과 비용을 투입해서라도 예외적으로 이들 모두는 다 함께 개선이 이루어지도록 동시에 고려되어야 한다. 왜냐하면 개선 우선 순위가 높은 한 공정이 개선되더라도 긴급 개선선을 벗어난 나머지 공정들에 의해 치명적인 손실은 계속적으로 발생할 것이므로 우선 순위에 의한 일련의 공정 개선은 별 의미가 없는 조치라고 볼 수가 있다.

우선 순위에 의해 개선할 취약 공정이 선정되고 개선하고자 할 때는 해당 취약 공정에 따른 영향 요소별 취약 정도(Fig. 9)를 참조하여 가장 취약 정도가 높은 영향 요소에 관련된 요소 작업부터 중점적으로 개선한다. 이것은 그 요소 작업으로 인해 해당 단위 공정의 취약 점수가 크게 상승했기 때문이다.

### 5. 취약 공정의 개선 대안을 위한 설계 원칙의 도출

보다 효율적인 개선 대안을 도출하기 위하여, 단위 공정의 취약 정도 계산 방법을 이용하여 개선해야 될 공정의 우선 순위에 따라 선정된 취약 공정에 대하여 1단계로 재설계를 위한 알고리즘의 흐름도를 적용해 여러 설계 원칙들 중 관련된 설계 원칙들을 검출할 수 있도록 하였다.

2단계에서는 시스템 영향 요소의 취약 정도(Fig. 9)를 참조하여 가장 취약 정도가 높은 영향 요소에 대하여 관련된 설계 원칙들을 검출할 수 있도록 하였다. 1단계와 2단계에서 검출되어진 설계 원칙들을 통해서 실제적으로 적용 가능하고 타당한 원칙들을 선별하고, 개선 대안을 제시하여 해당 단위 공정의 관련된 요소 작업부터 중점적으로 개선이 이루어 질 수 있도록 하였다. 1단계와 2단계의 보다 자세한 내용은 사례 연구를 통하여 다루고자 한다.

Fig. 12는 실제 조립 영역의 재설계를 위한 알고리즘의 흐름도를 보여 주고 있는데, Yes/ No의 선택을 통해 조립 대상, 조립 공정, 조립 수행체 측면의 설계 원칙들 중 어느 한가지 방향으로 접근할 수 있도록 하였다. 이렇게 접근되어진 방향에 따라 각 영향 요소별로 분류되어 설정되어진 여러 기본 설계 원칙들 중 취약 공정을 개선시키기에 타당하다고 판단되는 설계 원칙을 검출할 수 있다<sup>(10)</sup>.

### 6. 사례 연구

본 논문에서는 자동차 난방기에 사용되는 송풍모터를

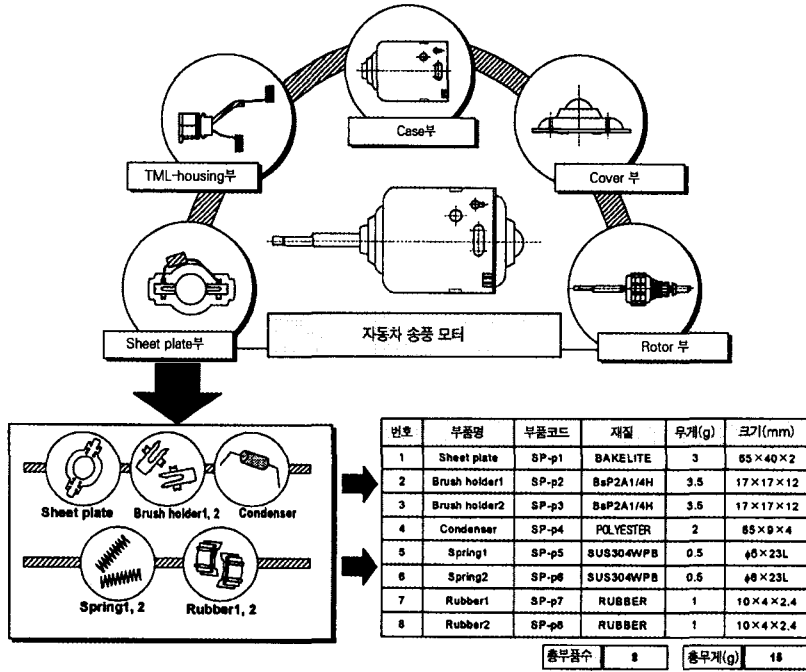


Fig. 13 자동차 송풍 모터의 구성

연구 대상으로 선정하였다. 소형 모터에 있어 기능과 형상에 있어 차이가 있지만, 이 모터는 다섯 개의 조립군과 조립군 외 부품인 L자 볼트와 너트를 포함하여 45개의 부품으로 구성되어 있으며, 30개의 단위 공정을 거쳐 생산되어진다. Fig. 13은 본 연구의 대상인 모터의 5개의 조립군을 개괄적으로 보여주고 있으며, 그 중에서 Sheet plate부의 부품 및 부품 리스트를 보여 주고 있다.

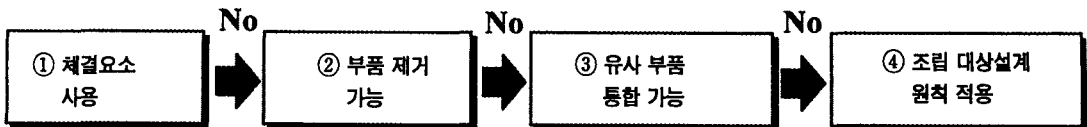
앞 선 장들에서 설명을 돕기 위하여 제시한 TML-housing부의 brush 및 spring을 Sheet plate부의 brush holder에 삽입하는 "Sheet plate반조립"단위 공정은 단위 공정별 취약 정도를 산정한 후 각 단위 공정들과 취약 정도를 비교한 결과, 긴급한 개선이 필요한 공정으로 평가되어졌다. 이러한 취약 공정의 개선 대안을 위한 설계 원칙을 도출하기 위해서는 다음과 같은 2단계의 과정을 따른다.

(1단계) 재 설계를 위한 알고리즘의 흐름도를 적용하여 여러 설계 원칙들 중 관련된 설계 원칙을 검출

Fig. 11의 알고리즘을 "Sheet plate반조립"공정의 실제 조립 영역 에 적용시키면 다음의 흐름을 따른다.

- ① "Sheet plate반조립"에서는 체결요소 사용 않음
- ② "Sheet plate반조립"에서는 spring 및 brush가 반드시 필요하므로 부품 제거 불가능
- ③ "Sheet plate반조립"에서는 유사 부품이 존재하지 않고 각각 독립적 기능을 가지므로 통합이 불가능 함
- ④ 조립 대상 설계원칙 적용

"Sheet plate반조립"공정은 조립 대상 설계 원칙을 따르며 각각의 영향 요소들 중에서 Fig. 9의 단위공정별 취약 정도 계산 결과, 취약 정도가 상대적으로 높은 "형상 위험/잡힘점"과 "대칭성/비대칭성/모따기" 관련 설계 원칙을 중점적으로 따른다. "유해 물질 함유"과 "미끄러움/끈적임/부스러짐/..."과 같은 재질 특성은 전체 취약 정도가 0이므로 고려 대상에서 제외하며, 나머지 영향요소들은 이들에 비하여 취약 정도가 매우 작으므로 크게 고려하지 않는다. "형상위험/잡힘점"과 "대칭성/비대칭성/모



영향요소		설계원칙	설계원칙
조립 보조 영역	대상 측면	영킹/겹쳐붙음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 혼돈저장을 피하고 매거진 이용</li> <li>• 같은 부품을 묶음</li> <li>• 부품의 외형에 영킹을 유발시키는 형상의 제거</li> </ul>
실제 조립 영역	공정 측면	체결점 파악/접근성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한 쪽 방향의 직선 이동의 체결</li> <li>• 적재 용이화</li> <li>• 중력을 이용한 체결</li> <li>• 놓임 안정성 고려</li> </ul>
		정렬성/삽입성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위치결정 안내면 만들기</li> <li>• 한 쪽 방향의 직선 이동의 체결</li> <li>• 중력을 이용한 체결</li> <li>• 삽입되는 구멍의 모양기(부품의 가이더를 위한)</li> <li>• 이송용이화(Overlap, Jam 피함)</li> </ul>
		조립 안정성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 흔들림 없는 지그 및 고정구 설계</li> <li>• 한 쪽 방향의 직선 이동의 체결</li> </ul>
	수행체 측면	작업 영역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 체결 방법(공정)의 최소화 및 단순화</li> <li>• 체결 방법(공정)의 상락화</li> <li>• 체결 길이의 최소화</li> <li>• 부품수의 최소화</li> <li>• 사용공구의 작업영역 확보</li> <li>• 제품의 모듈화 설계</li> </ul>

Fig. 14 영향 요소의 취약 정도에 따른 Sheet plate반조립 공정의 관련 설계 원칙

따기"에 관련된 설계 원칙들 중 어느 원칙을 적용시킬 것인가는 2단계 수행 결과와 보완해서 결정한다.

조립 보조 영역에 대해서도 위와 같은 방법을 따른다.

**(2단계) 취약 정도가 높은 영향 요소에 대한 관련 설계 원칙의 검출**

Fig. 9에서 볼 수 있듯이 취약 정도 산정 결과, 상대적으로 취약 점수가 높은 영향 요소는 조립 보조 영역에서 대상측면의 "영킹/겹쳐붙음", 실제 조립영역에서 공정측면의 "체결점 파악/접근성", "정렬성/삽입성", "조립 안정성"과 수행체 측면의 "작업영역"으로 음영으로 표시된 부분이다. 여기서 "체결점 파악/접근성"은 최종 취약점수가 4.16으로 취약 영향 요소로 선정을 하였는데 그 이유는 4.5절에서 구한 대상측면, 공정 측면, 수행체 측면의 평균 취약 점수인 3.2, 1.13, 2.59를 훨씬 초과하기 때문이다. Fig. 14는 "Sheet plate반조립"공정에 취약 영향 요소로 작용하는 영향요소에 대한 설계 원칙들을 보여주고 있다. 이들 중에서 개선 대안에 적용하기에 타당성이 있는 설계 원칙들은 음영을 주어 나타내었다.

그런데 영향 요소들은 단위 공정에 대하여 독립적으로 영향을 미치지 않고 서로 종속적으로 영향을 미치는 경우가 많다. 즉, 하나의 영향요소에 관련된 설계 원칙을 적용시켜 개선을 시키면 해당 영향 요소의 취약 정도를 낮추는 것은 물론, 관련 있는 다른 영향 요소의 취약 정도도 함께 낮출 수 있다. 이것은 Fig. 6의 시스템 영향 요소간의 상관 관계표에서도 볼 수가 있으며, 상관 관계 정도가 크면 클 수록 그 개선의 파급 효과는 크게 나타날 것이다. 그러나 한 영향 요소에 대한 개선이 다른 영향 요소에 대해 더욱더 취약함을 유발시킬 수도 있으므로 충분한 검토 후 설계 원칙들을 적용하는 것이 필요하다.

Fig. 15는 1단계와 2단계를 거쳐 개선 대안에 적용하기에 타당한 설계 원칙들을 고려해 brush 형상을 재 설계한 것이다. 기존 설계는 좁은 조립 작업 영역에서 brush holder에 spring과 brush를 순차적으로 삽입하는 공정이었으나, 개선 설계에서는 brush에 돌출 부분을 줌으로서 spring을 삽입하기 전에 작업영역이 무한대인 밖에서 이미 brush의 돌출부분에 spring을 끼워 동시에 brush holder에 삽입시킬 수 있도록 하였다. 이렇게 함

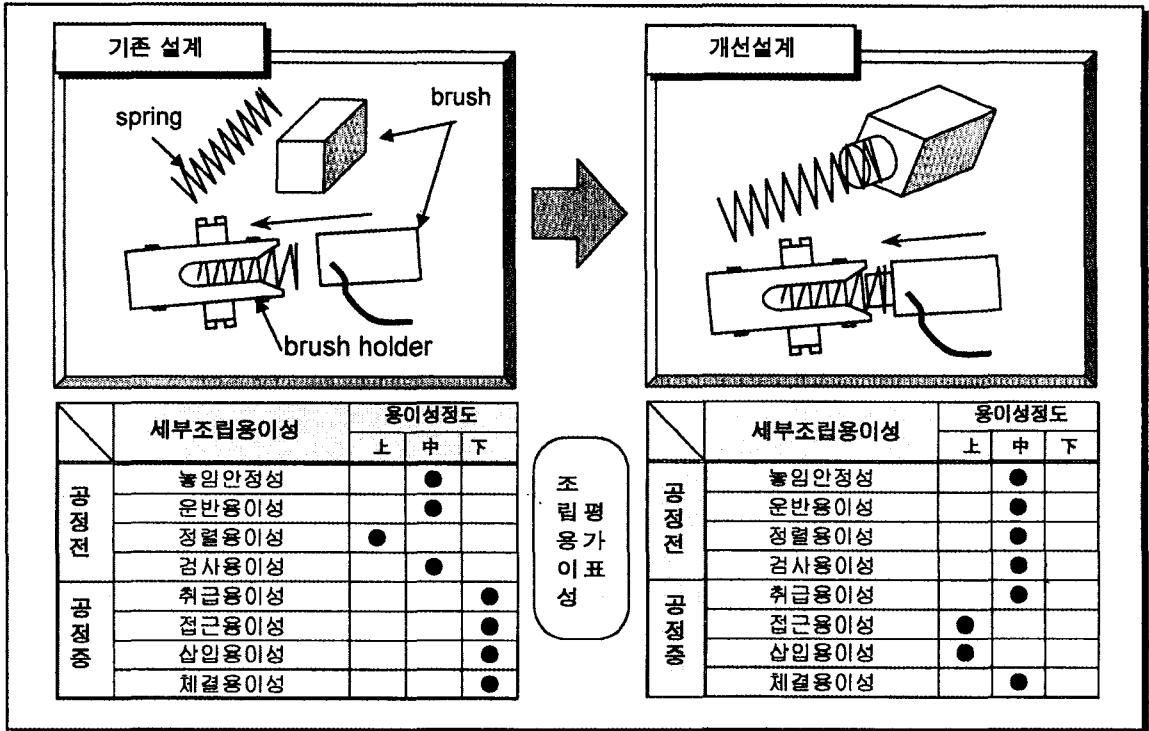


Fig. 15 설계원칙을 적용한 brush의 재설계 대안<sup>(11)</sup>

으로써 좁은 영역에서 작업을 함으로써 생기는 작업 지연이나 작업자 실수를 피할 수 있으며 작업자의 노력을 절감하는 등의 효과를 가져올 수 있다.

재 설계 효과를 조립 용이성을 결정하는 조립공정 전과 공정 중의 8가지 특성<sup>(12)</sup>으로 기존 설계와 개선 설계로 비교하였을 때, 공정중의 특성인 취급용이성, 접근용이성, 삽입용이성, 체결용이성이 눈에 띄게 개선된 것을 발견할 수 있다. 이 8가지 특성들은 조립용이성을 평가하는 가장 일반적인 기준이 되기 때문에 이 기준들의 개선은 조립용이성, 즉, 조립생산성 향상을 가능케 하는 객관적인 기준이 될 수가 있다.

### 7. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 현재의 조립시스템에 있어 균형의 손실을 일으키고 취약하다고 판단되는 공정을 선별하고 이를 개선할 수 있는 설계 원칙을 제시하기 위한 취약 공정의 분석, 평가 체계를 구축하였다. 단위 공정별 취약 정도를

산정하는 방법은 단위 공정에 영향을 미치는 영향 요소를 선정하여 각각에 대한 취약 점수를 산정하고 객관성을 부여하기 위하여 해당 단위 공정에 따른 상관 관계표를 이용한 상관점수와 가중치를 곱하여 최종 취약 점수를 구하였다. 사례 연구에서는 취약 점수가 높은 영향 요소에 관련 설계원칙을 적용하여 재 설계한 결과 조립용이성이 현격히 향상되는 것을 보여주었다.

앞으로, 취약 공정의 평가 및 재 설계를 위한 전문가 시스템을 개발하고, 조립 용이성 향상을 위한 설계원칙을 구체화하고 조립 자동화를 위한 부품 설계 원칙을 부가하여 취약 공정이 발생하는 수 조립으로 수행되는 작업을 목표 tact time내에 생산이 완료될 수 있는 자동화가 실현되어야 한다.

### 참고 문헌

- 1 W. Eversheim, M. Hartmann and M. Linnhoff, "Zukunftsperspspektive Demontage," VDI - Z, 134, Nr. 6-Juni, 1992.

2. J. Milberg, Andreas Die terle, "Integration der Demontage in die Produktgestaltung, Wissenschaft und Technik," 1993.
3. G. Boothroyd, L. Alting, "Design for Assembly and Disassembly," Annals of the CIRP, Vol. 41, 1992.
4. G. Boothroyd, "Assembly Automation and Prouct Design," Marcel Dekker Inc., pp. 229-252, 1989.
5. W., Eversheim, and M., Baumann, "Assembly oriented Design Process," Computers in Industry, 1991.
6. 목학수, 김경윤, 이재철, "나사작업에 있어서의 조립형상 특징을 기초로 한 조립용이화 제품설계 전문가 System의 개발," 대한산업공학회지, 제20권 4호, pp. 153-180, 1994.
7. H. J., Warnecke, and R., Baessler, "Design for Assembly - Part of the Design Process," Annals of CIRP, Vol. 37, 1988.
8. 목학수, 정현교, 박주형, "자원 재활용을 위한 부품의 분리용이성," 한국정밀공학회지, 제13권 제1호, pp. 153-166, 1996.
9. 황 학, "작업관리론," pp. 146-154, 1992.
10. Bruno Lotter, "Manufacturing Assembly Handbook," pp. 21-29, 1989.
11. 안중환, 목학수, 김술용, 황진용, 조종래, "무인조립 및 측정검사 시스템의 설계 및 평가," 효성전기주. , pp. 53-59, 1997.
12. 목학수, 김형주, 문광섭, 양태일, "자동차 부품의 조립 용이성과 분리 용이성," 한국 학술진흥 재단, pp. 78-114, 1996.