

자동차 송풍모터의 조립용이성과 자동화를 위한 재설계

목학수*, 조종래*

Redesign of Automobile Heater Blower Motor for Assemblability and Automation

Hak Soo Mok*, Jong Rae Cho*

ABSTRACT

This paper proposes a redesign procedure for assemblability and automatic assembly of an automobile heater blower motor. According to the procedure, redesign alternatives are generated, then the alternatives are evaluated by a weighted objectives method to select one optimal redesign alternative. First, the redesign objectives are identified and the assemblability of the current motor is evaluated to decide redesign rules. Finally, the redesign variants and alternatives are generated using the redesign criteria. This information is then evaluated to select an optimal alternative, determined by weighted evaluation criteria which is established in advance.

Key Words : Redesign(재설계), Assemblability(조립용이성), Automatic assembly(자동 조립)

1. 서론

수 조립은 사람에 의해 조립작업이 수행되는 것을 말하는데 사람에 의한 작업이므로 작업공간 할당의 어려움, 온도, 습도, 잡음 등의 작업환경과 회사의 철학 등에 따라 유동적이므로 생산성이 일정하지 않다. 따라서, 이러한 수 조립 공정을 자동 조립시스템으로 전환함으로써 생산성 향상과 생산비용 감소, 신뢰성 있는 제품생산, 위험한 작업에 작업자 배제 등의 효과를 얻을 수 있다. 자동 조립시스템을 구축하고자 할 때에는 먼저 현재 자동 조립을 어렵게 하거나 불가능하게 만드는 제품의 특성을 분석하고 제거하여 재설계가 이루어져야 한다.

조립용이성을 위한 설계(Design for Assembly)와 조립자동화를 위한 설계는 60년대 GE에 의해 제품설계를 위한 가이드라인이 개발되었고, 70년대

에는 일본의 Hitachi의 AEM과 같이 자동 조립용 이화를 위한 시스템적 절차가 개발되었다^[1]. 80년대에 Boothroyd와 Dewhurst가 이론적 최소 부품 수, 실제 조립시간 추정, 조립 어려움 파악, 조립 비용 평가 등의 구체적인 조립용이성 평가시스템을 개발하였으며 90년대 들어서는 Lucas가 조립 비용 절감과 부품 수 감소를 강조하는 조립용이성 평가방법을 제시하였고 Evershein과 Baumann은 CAD의 형상정보를 DFA에 이용하였다^[2]. 그러나, 제품의 부품 수 감소와 조립용이성을 위한 설계 가이드라인의 제시와 조립용이성 평가방법에 대한 연구가 대부분이었으며, 재설계가 되는 과정과 절차를 전체적으로 보여주는 연구는 많이 이루어지지 않았는데, 본 논문은 현재의 제품의 특성에서 재설계 가이드라인과 원칙을 도출해내는 과정과 재설계 과정, 재설계 대안 평가 등의 전체적인 절차를 제시하였다.

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소

Fig. 1은 본 연구의 내용 및 필요성을 보여주고 있는데, 이익의 증가, 유연성 향상, 품질의 증가, 생산성을 향상시키기 위해서 조립자동화와 조립용이성을 위한 송풍모터의 재설계가 필요하게 되었으며, 재설계된 모터는 자동 조립시스템 구축을 위한 절차나 단계에서 중요한 입력정보로 사용이 된다. 즉, 조립 순서와 조립자동화 매커니즘을 결정하고 지그와 고정구 등의 보조기구를 설계하여 자동 조립시스템을 구축하는데 재설계된 모터의 정보가 지속적으로 고려된다.

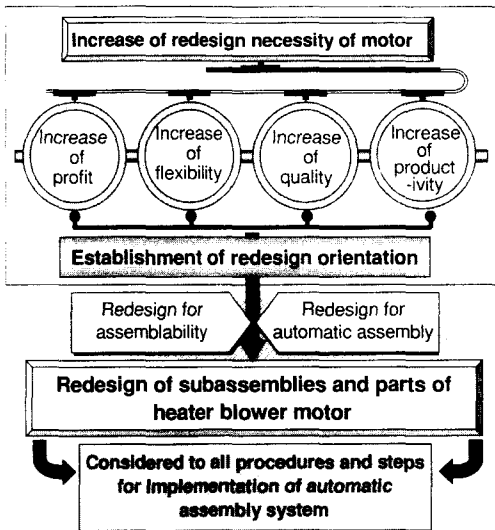


Fig. 1 Content and necessity of research

2. 재설계를 위한 조립대상과 공정의 분석

2.1 제품의 재설계 단계 및 방법

재설계를 위한 가장 중요한 절차 중 하나가 현 제품의 분석인데 그 이유는 현 제품과 공정을 분석함으로써 자동화를 어렵게 하거나 조립시간과 비용을 많이 들게 하는 현재의 제품 구조의 취약 특성을 파악해서 집중적으로 재설계할 수 있기 때문이다¹³⁾.

Fig. 2는 제품과 공정을 분석하여 재설계를 성취하는 단계와 그 방법을 보여주고 있다. 먼저, 목적 트리를 그려서 재설계 목적을 확인하고 조립도에서 조립용이성 평가를 위한 제품 특성을 획득해서 Boothroyd Dewhurst Inc.의 DFA 8.0을 사용하여 조립용이성을 평가한다.

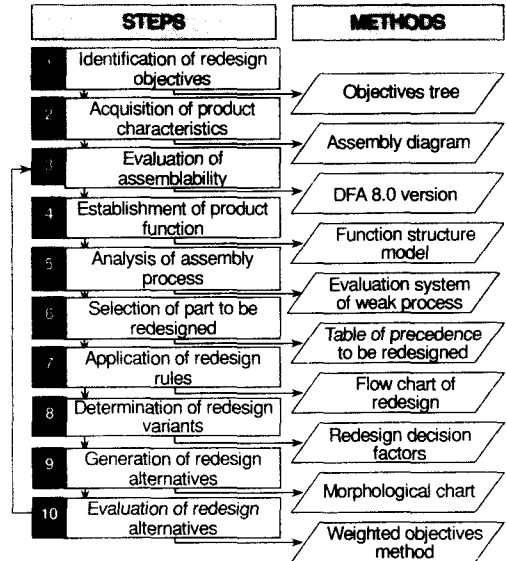


Fig. 2 Steps and methods of redesign

다음으로, 기능 분석 모델을 사용하여 제품의 기능을 설정하고 취약공정 평가시스템을 사용하여 조립공정을 분석하여 취약함을 많이 발생시키는 부품을 선정한다. 마지막으로, 재설계 원칙을 적용하여 재설계 Variants와 대안을 생성하고 가중치를 적용하여 대안들을 평가하여 최적의 재설계 대안을 선택한다.

2.2 재설계 대상의 선정

본 논문에서는 자동차 난방에 사용되는 송풍모터를 연구대상으로 선정하였다. 송풍모터는 기능과 형상에 있어서 약간의 차이가 있지만, 약 45개의 부품이 약 30개의 단위공정을 거쳐서 rotor부, sheet plate부, TML-housing부, cover부의 다섯개 조립군의 최종 수조립공정으로 생산되는데, Fig. 3(a)과 Fig. 3(b)는 본 논문에서 수조립 시 취약함이 가장 많이 발생해서 재설계하고자 하는 cover부와 sheet plate부의 형상과 부품정보를 보여주고 있다. Cover부는 cover, metal cover, metal, metal spring, felt washer의 다섯 종류의 부품으로 이루어져 있으며, sheet plate부는 sheet plate, brush holder, spring, rubber, condenser의 다섯 종류의 부품으로 이루어져 있다. 그리고, 각 부품의 코드와 재질, 무게, 크기 등의 정보를 직접 측정하거나 제조업체에서 데이터를 구하여 기입하였다.

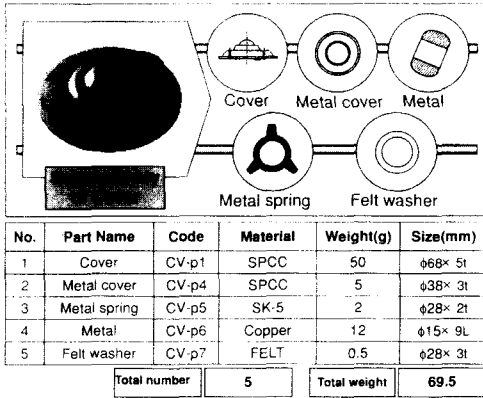


Fig. 3(a) Part list and sketch of cover

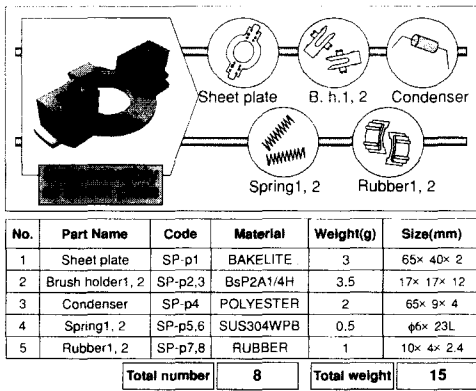


Fig. 3(b) Part list and sketch of sheet plate

2.3 송풍모터의 재설계 목적의 확인

재설계를 하기 전에는 반드시 재설계하는 목적을 명확히 확인해야 한다^[4]. Fig. 4는 송풍모터의 재설계 목적 트리를 보여주고 있다.

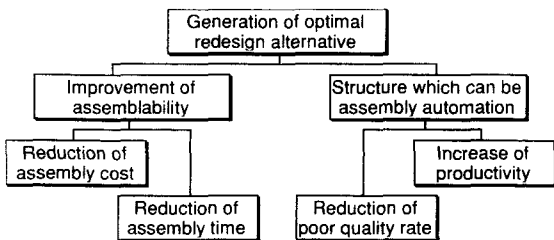


Fig. 4 Redesign objectives tree of motor

최종 목적은 최적의 재설계 대안을 생성하는 것이고, 조립용이성 향상과 자동화가 가능한 구조를 성취하기 위해서 각각 조립비용 감소, 조립시

간 감소와 제품의 품질 향상, 생산성 향상을 위해서 재설계를 이루어야 한다. 이러한 재설계 목적 트리는 재설계되는 모터의 요구 기능도 같이 고려하여 그릴 수 있다.

2.4 송풍모터의 제품 특성의 획득

재설계 목적이 확인된 후 현 모터의 조립용이성을 평가하기 위하여 제품의 특성이 파악되어야 한다. 조립용이성 평가를 위한 입력정보로 사용되는 제품 특성에는 모터의 각 조립군과 부품별 체결방법, 조립 선후 관계, 조립순서, 조립군과 부품 정보 등이 있다^[1]. 본 논문에서는 Fig. 5와 같이 품질관리의 특성요인도를 응용하여 각 부품과 다섯 개의 조립군이 완제품이 되기까지의 조립이 진행되는 상황을 알기 쉽게 조립도로 표현하였다.

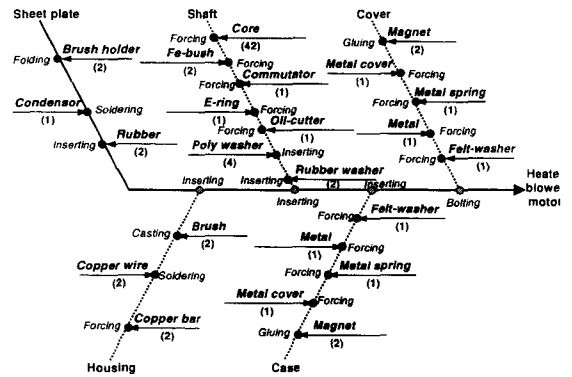


Fig. 5 Assembly diagram of motor

즉, 화살표로 부품의 조립위치와 부품의 이름, 부품의 수, 체결방법을 나타내었고, 실선으로 기저 부품(base part)의 흐름을, 점선으로 각 조립군의 체결순서와 체결정보를 나타내었다.

2.5 송풍모터의 조립용이성의 평가

조립용이성을 평가하는 방법에는 인간중심의 지식에 의한 제품재설계 원리와 원칙을 사용하는 이용한 DFA(Design for Assembly) 방법과 각 부품의 조립용이성을 정량화하여 합해서 전체 제품의 조립용이성을 구하여 조립용이성 점수가 낮은 부품을 중점적으로 재설계를 하여 제품 전체의 조립용이성 점수를 높이는 정량적 평가절차를 통한 DFA 방법이 있다. 또, 전문가로부터 획득한 재설계 지식을 사용한 전문가시스템을 사용한 DFA 방

법과 3차원 CAD 모델로부터 재설계 속성을 추출하는 컴퓨터를 사용한 DFA 방법 등이 있다[3]. 현재 많이 알려진 조립용이성 평가 방법에는 Hitachi AEM 과 Locus 의 DFA 방법 등이 있다^[2].

본 논문에서는 송풍모터의 조립용이성의 평가는 Fig. 6 에서와 같이 송풍모터의 전체 부품수량과 각 부품의 재질 및 역할, 체결 방법, 동일 부품수, 이론적 최소 수량, 취급시간, 삽입시간, 조립인건비 등의 정보를 입력하게 되는데, 이 정보는 Fig. 5 의 조립도를 참조하여 얻게 된다.

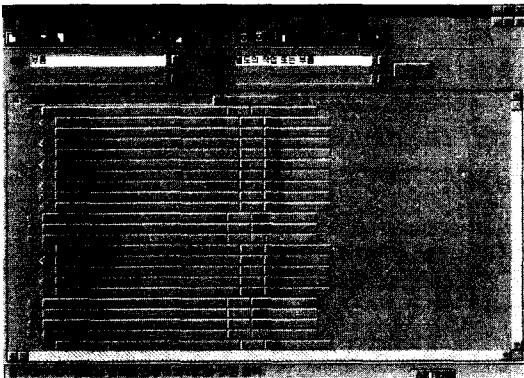


Fig. 6 Input form of DFA 8.0 for motor

조립용이성 평가 결과, 전체 조립과정 중에서 sheet plate 부에 spring 과 brush 를 삽입하는 sheet plate 반조립 공정이 취약함이 많이 발생하여 85 초의 절감가능시간과 24.88%의 시간 단축효과가 있고, cover 부와 case 부를 L자 볼트로 체결하는 공정도 많은 취약함이 나타났다. 즉, 앞에서 재설계 대상으로 선정한 것 과 같이 sheet plate 와 cover 부의 재설계가 절실하게 나타났다.

2.6 송풍모터의 기능 설정

제품을 재설계 할 때 제품 본래의 기능을 훼손시키지 않는 한도 내에서 조립용이성을 향상시키는 방법으로 재설계되어야 하므로, 제품의 기능은 재설계 시 가장 먼저 고려되어야 하는 요소 중 하나이다^[5]. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 송풍모터의 기능을 보여주는 기능구조 모델(function structure model)이다. 기능구조 모델은 제품의 기능과 기능을 유발하는 부품들을 체계적으로 나열한 것으로서 재설계 대상이 되는 부품을 결정하는데 유용하게 사용된다.

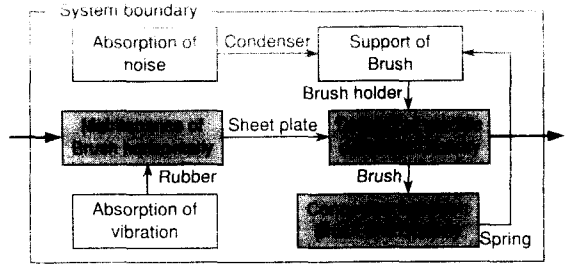


Fig. 7(a) Function structure model of sheet plate

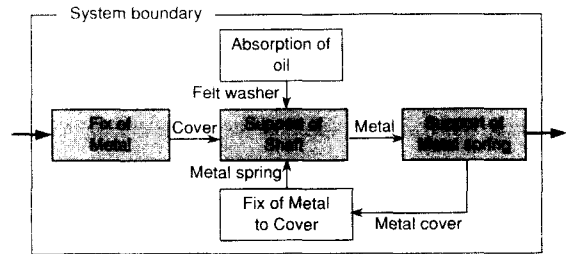


Fig. 7(b) Function structure model of cover

그림에서와 같이, 제품의 기능을 음영처리한 주기능과 그렇지 않은 부기능으로 나누어서 부기능을 서로 연결시키는 부품을 가장 먼저 재설계를 고려하고 부기능과 주기능을 연결시키는 부품을 다음에, 주기능과 주기능을 연결시키는 부품을 마지막으로 재설계 대상으로 고려하게 된다. 예를 들면, sheet plate 부의 주기능인 brush 의 수평을 유지해서 commy 로 전류를 전달하는 기능은 sheet plate 가 담당한다.

2.7 현재의 수 조립 공정의 분석

현재의 수 조립공정을 분석하는 이유는 일련의 단위공정 중 평균 취약점수보다 큰 취약점수를 가지는 취약(애로)공정을 찾는 것인데, 그 이유는 발견된 취약공정을 유발시키는 제품의 취약특성을 제거하는 방향으로 재설계를 성취하는 것이 재설계의 효과를 극대화 시킬 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 Fig. 8 과 같이 제품의 취약 특성을 발견하여 재설계 원칙을 도출하기 위하여 조건하여 조립공정의 정의, 정의된 각 단위공정별 취약정도의 계산, 취약정도가 높은 영향요소에 대한 취약정도를 낮추기 위한 재설계 원리 및 원칙의 도출의 세 단계로 이루어진 취약공정 평가시스템을 적용하였다^[6].

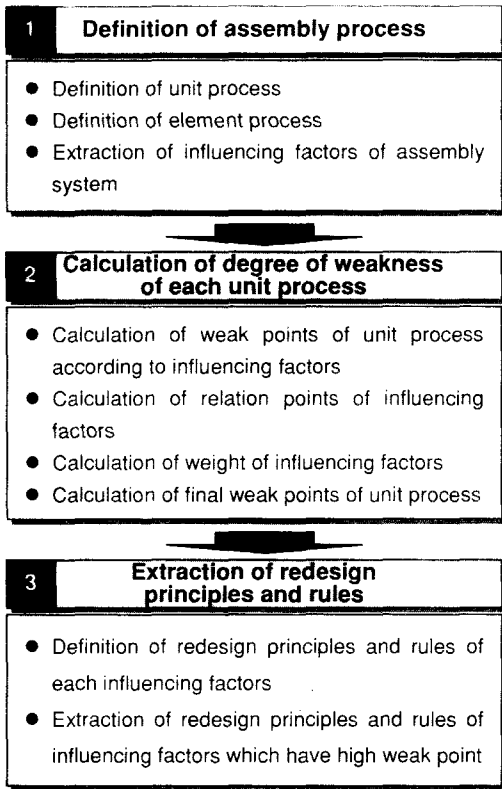


Fig. 8 Steps of evaluation system of weak process

먼저, 조립공정을 단위공정(unit process)과 요소 작업(element process)으로 분류하고 조립시스템의 영향요소를 조립대상 측면, 조립공정 측면, 조립수행체 측면으로 나누어서 선정한다. 다음으로, 설정된 조립시스템의 영향요소에 따라 각 단위공정의 취약정도를 구하고 영향요소들간의 상관관계 점수와 가중치를 구하여 최종적인 단위공정의 취약점수를 구한다. 마지막으로, 취약점수가 높은 영향요소에 대해서 재설계 원칙을 도출한다.

Fig. 9는 조립보조 영역과 실제조립 영역별 조립대상, 조립공정, 조립수행체 측면 각각에 대한 조립시스템에 대한 영향요소를 선별한 것을 보여주고 있다. 예를 들면, 조립대상 측면의 영향요소에는 부품의 크기, 무게, 재질, 엉킴성, 형상위험 등의 기하학적 특성이 대부분이고, 조립공정 측면은 취급과 운반 특성이, 그리고 조립수행체 측면에는 작업영역, 조립자 위험, 보조 tool의 사용 등의 영향요소가 있다.

Influencing factors of assembly system		
	Assembly sub area	Assembly main area
Aspect of object	1. Size/weight/thickness 2. Material(slidability/stickiness/crack/flutter) 3. Nesting/tangling 4. Shape danger/grasping point 5. Hazardous article	1. Size/weight/thickness 2. Material(slidability/stickiness/crack/flutter) 3. Nesting/tangling 4. Shape danger/grasping point 5. Hazardous article 6. Symmetry/asymmetry/chamfer 7. Tolerance/accuracy
Aspect of process	1. Handling characteristic (gripping/place/support) 2. Transportation characteristic (to joining point/ to next process/ obstacle/transfer distance)	1. Grasp of joining point/access 2. Arrangement/insertion 3. Assembly stability 4. joining power 5. Crack
Aspect of assembler	1. Working area 2. Failure of assembler/danger of assembler/disturbance of m/c 3. Use of auxiliary tool	1. Working area 2. Failure of assembler/danger of assembler/disturbance of m/c 3. Use of auxiliary tool

Fig. 9 Influencing factors of assembly system

식 (1)은 단위공정에 있어서 조립시스템 영향요소별 취약정도의 계산식이다.

$$F_x = P_x \times R_x \times W_x \quad (1)$$

where

F_x : Degree of weakness for each influencing factors

P_x : Total point of weakness for each influencing factors

R_x : Relation point for each influencing factors

W_x : Weight for each influencing factors

x : Influencing factors

여기서, 취약정도에 상관점수와 가중치를 각각 곱하는 이유는 영향요소들은 각각이 독립적으로 시스템에 영향을 주는 것이 아니라 상호의존적인 관계에 의해 시스템에 영향을 미치기 때문이다. Fig. 10은 식 (1)을 사용하여 재설계 대상인 sheet plate 반조립 공정의 영향요소별 취약정도를 계산한 것이다^[6]. 각 영향요소별 취약정도는 각 요소작업별로 등급을 부여하여 정량화하여 합해서 구하고, 상관점수와 가중치는 각 평가기준들의 쌍 비교(pairwise)를 통하여 구하였다.

Influencing factors		Calculation of deg. of weakness	Equation of deg. of weakness	Points
Assembly sub area	Aspect of object	Size/weight/thickness	$4 \times 2.2 \times 0.10$	0.88
		Material(flutter...)	$4 \times 2.5 \times 0$	0
		Nesting/tangling	$14 \times 2.1 \times 0.34$	10
		Shape danger/grasping	$8 \times 2.4 \times 0.10$	1.92
		Hazardous article	0	0
	Process	Handling(gripping...)	$8 \times 2.4 \times 0.17$	2.24
		Transportation(distance...)	$4 \times 2.5 \times 0.02$	0.2
	Assem- blier	Working area	0	0
		Failure/danger...	$4 \times 2.4 \times 0.27$	2.59
		Use of auxiliary tool	0	0
Assembly main area	Aspect of object	Size/weight/thickness	$8 \times 1.5 \times 0.04$	0.48
		Material(flutter...)	$16 \times 1.8 \times 0$	0
		Nesting/tangling	$8 \times 1.7 \times 0.05$	0.68
		Shape danger/grasping	$14 \times 1.8 \times 0.08$	2.02
		Hazardous article	0	0
		Symmetry/asymmetry...	$12 \times 1.5 \times 0.10$	1.8
		Tolerance/accuracy	$10 \times 1.4 \times 0.05$	0.7
	Process	Grasp of joining point...	$26 \times 2.0 \times 0.08$	4.16
		Arrangement/insertion	$24 \times 2.0 \times 0.18$	8.64
		Assembly stability	$30 \times 2.0 \times 0.17$	10.2
	Assem- blier	Joining power	0	0
		Crack	0	0
	Assem- blier	Working area	$22 \times 2.0 \times 0.19$	8.36
		Failure/danger...	$20 \times 2.3 \times 0.05$	2.3
		Use of auxiliary tool	$6 \times 2.1 \times 0.01$	0.13

Fig. 10 Final weak points of sheet plate assembly

예를 들면, 영향요소 엉킴성(nesting/tangling)의 경우 대상측면의 취약 평균 3.2를 훨씬 초과하므로 취약 영향요소로 선별되었다.

3. 송풍모터의 재설계 및 평가체계

3.1 재설계 대상 부품의 선정

2.1 절의 Fig. 7(a), 7(b)의 기능구조 모델(function structure model)을 적용한 결과 재설계 시 송풍모터의 본래 기능을 유지하면서 취약함이 많이 발생하는 부품을 Fig. 11과 같이 재설계 대상으로 선정하였는데, 부기능 사이를 연결하는 Condenser가 가장 먼저 재설계 대상으로 선정되고 다음으로 부기능과 주기능, 주기능 사이의 부품의 순으로 선정되었다.

Priority Subassembly	Redesigned parts firstly	Redesigned parts secondly	Redesigned parts finally
Subassembly of Cover	•Condenser	•Brush holder •Rubber •Spring	•Sheet plate •Brush
Subassembly of Sheet plate		•Felt washer •Metal cover •Metal spring	•Cover •Metal

Fig. 11 Parts to be redesigned and redesign priority

3.2 재설계 원칙의 적용

재설계 대상으로 선정된 부품이나 체결요소를 Fig. 12의 재설계 흐름도를 통해서 재설계 원칙을 적용하였다. 즉, 설정된 기능구조 모델에 따라서 Fig. 11의 재설계 대상 부품이 정해지면 그 우선순위에 따라 Fig. 12의 재설계 흐름도로 일차적인 재설계 개념과 방향이 결정된다.

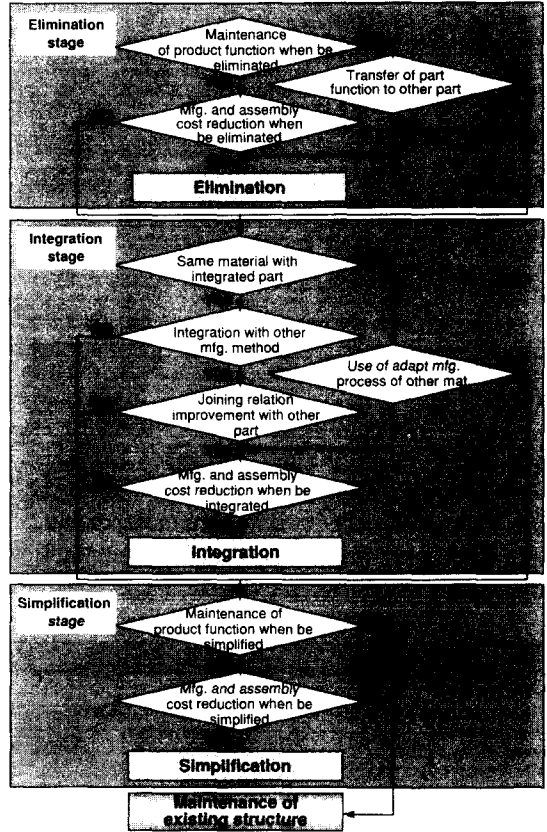


Fig. 12 Redesign flow chart

재설계 단계를 제거, 통합, 간단화의 세단계로 나누어서 부품이나 조립군, 체결요소의 기능, 생산비용, 조립비용, 체결방법 등을 고려해서 제거 단계에서 제거하는 것이 가장 좋고, 제거가 불가능하면 다른 부품이나 조립군, 체결요소와 통합시키고 통합도 불가능하면 간단화 하게 된다^[3,4].

결정된 재설계 개념과 방향에 따라서 Fig. 13의 취약공정 평가시스템의 결과 취약점수가 높은 영향요소별로 세부적인 재설계 원칙이 도출된다. 예를 들면, 엉킴성(nesting/tangling)의 경우 메저진

(magazine)을 사용하면으로써 영김성을 제거할 수 있다.

Rules Factors	Redesign rules
Nesting/ tangling	<ul style="list-style-type: none"> • Use a magazine not hopper storage • Design the part in 'bandform' • Eliminate the shape which triggers the nesting
Grasp of joining point/ access	<ul style="list-style-type: none"> • Join with linear moving and one direction • Make the storage be easy • Join using the gravity • Have the stability of placement
Arrangement/ insertion	<ul style="list-style-type: none"> • Have the guide surface for part to insert easily • Join with linear moving and one direction • Join using the gravity • Design the chamfer • Make transportation be easy(not overlap, Jam)
Assembly stability	<ul style="list-style-type: none"> • Design the jig & fixture not to be shaken, vibrated • Join with linear moving and one direction
Working area	<ul style="list-style-type: none"> • Minimize and simplify the joining process • Eliminate the joining process • Minimize the joining length • Minimize the part number • Take a enough working space for tool • Make the product be modular design

Fig. 13 Redesign rules of influencing factors

본 논문에서는 조립자동화를 위한 제품의 재설계 원칙을 Fig. 14 와 같이 이송(transporting), 정렬(arrangement), 공급(feeding), 체결(inserting)의 네 가지 범위로 나누어서 도출하였다¹⁷⁾.

1	Transporting	2	Arrangement
<ul style="list-style-type: none"> • Avoid variants • Provide features that prevent jamming of parts • Integrate the parts • Use components in bandform • Make components be same size • Avoid use of non-appropriate materials for packaging 		<ul style="list-style-type: none"> • Avoid variants • End to end symmetry and rotational symmetry • Avoid tangling when in bulk • Design particular orienting surfaces • Eliminate the complicated shape • Use components in bandform 	
3	Feeding	4	Inserting
<ul style="list-style-type: none"> • Avoid variants • Make asymmetry obviously • End to end symmetry and rotational symmetry • Design particular orienting surfaces • Avoid slippery, delicate, very small, flexible parts 		<ul style="list-style-type: none"> • Have chamfer or rounding • Fit the components with guide surfaces • Fasteners should be easy to remove • Minimize the number and length of interconnecting wires or cables used 	

Fig. 14 Redesign rules of product for automation

수 조립의 경우 부품이 수동으로 조립 지점으로 이송되어서 작업자에 의해서 수동으로 체결되기 때문에 부품의 이송, 정렬, 공급 시에는 조립용이성을 위한 설계가 고려될 필요가 없고, 체결 시

에만 조립용이성을 위한 설계에 관심이 있다. 그러나, 자동 조립의 경우 이송, 정렬, 공급, 체결이 기계장치에 의해서 이루어지기 때문에 체결뿐만 아니라 부품의 이송, 정렬, 공급용이성을 위한 설계가 이루어져야 한다¹⁸⁾.

3.3 재설계 Variants 의 결정

선택된 재설계 대상 제품을 재설계 흐름도 (redesign flow chart)와 조립용이성을 위한 재설계 원칙, 조립자동화를 위한 재설계 원칙에 따라서 재설계 Variants 가 결정된다^{13,9)}. 제품이나 부품의 Variants 는 여러 가지로 정의되고 있는데, 본 논문에서는 부품의 형상(feature), 체결위치, 체결방법, 기구학적 메커니즘 등의 부기능(sub-function)을 말한다. 즉, 하나의 부품은 이러한 Variants 의 조합으로 이루어지며, 다음 절에서 그리는 형태학적 도표(morphological chart)의 주요 구성요소가 된다. 이러한 Variants 는 조립용이성과 자동화를 위해서 충족되어야 하는 각 부품의 재설계 결정요소로부터 가능한 모든 경우가 생성이 된다.

Fig. 15 는 cover 부와 sheet plate 부의 재설계 결정 요소를 보여주고 있다.

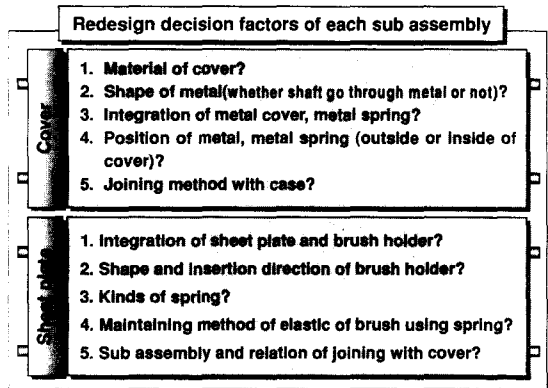


Fig. 15 Redesign decision factors of motor

예를 들면, cover 부의 첫번째 결정요소인 cover 의 재질에 따라서 철, 플라스틱, 알루미늄 등의 여러가지 재질 측면의 Variants 가 생성될 수 있다.

Fig. 16 은 Fig. 15 의 재설계 결정요소에 따라서 생성된 cover 부의 Variants 와 case 부와의 체결방법을 보여주고 있다. 예를 들면, 'case 부와의 체결방법'의 결정요소의 경우에 프레스와 나사 작업의 두 가지 Variants 가 그림에 나타나 있다.

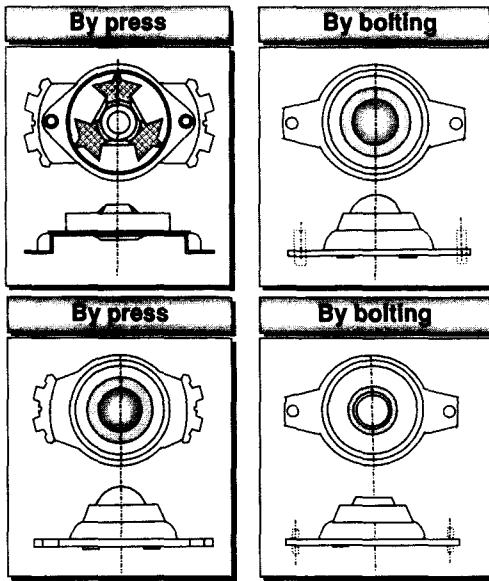


Fig. 16 Redesign Variants of cover

3.4 재설계 대안의 생성

Fig. 17 은 Fig. 16 의 재설계 결정 요소에 따라서 그린 형태학적 도표(morphological chart)를 보여 주고 있다.

Solution				
Function				
Joining method with case	Bolting	Press	Welding	
Location of Metal	Outside	Inside		
Mfg. method	Press	Injection molding	Casting	
Joining relation with case	Can be disassembled	Can't be disassembled		
Material	Plastic	Aluminum	Steel	

Fig. 17 Morphological chart of cover

형태학적 도표란, 제품이나 기계가 가질 수 있는 형태(morphology)를 기능(function)적인 측면에서 제시하고 각각의 기능에 대한 가능한 해(solution)들을 서술하여 가능한 대안들을 조합(combination)을 통해서 생성시키는 방법이다. Fig. 17 에 다섯 가지의 결정해야 할 기능과 각 기능에 따른 해들이 제시되어 있는데, 총 가능한 조합을 통한 대안들은 $3 \times 2 \times 3 \times 2 \times 3 = 108$ 가지이다.

Redesigned structure (Alt.1)	Redesigned structure (Alt.2)
<p>➤ Cover ➤ Sheet plate</p>	<p>➤ Cover ➤ Sheet plate</p>
Characteristics of geometry, machining, assembly	
<p>➤ Cover</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Casting or press(steel) ● Location of the metal to outside ● Adding shape for sheet plate to insert in advance <p>➤ Sheet plate</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Injection molding(plastic) (Integration of sheet plate and brush holder) ● Pre-assembly with cover 	<p>➤ Cover</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Injection molding(plastic) ● Location of the metal to outside ● Adding shape for sheet plate to insert in advance <p>➤ Sheet plate</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Injection molding(plastic) (Integration of sheet plate and brush holder) ● Pre-assembly with cover

Fig. 18 Redesign alternatives of cover and sheet plate

Fig. 18 은 108 가지의 조합들 중에서 조립용이성을 위한 재설계 원칙과 조립자동화를 위한 재설계 원칙을 만족하면서 본래의 기능을 유지하면서 조립용이성을 향상시키는 cover 부와 sheet plate 부의 최종 대안 두 가지를 보여주고 있다.

대안 1 의 cover 부의 경우 sheet plate 부를 위한 추가형상이 존재하고 steel 프레스나 캐스팅에 의해서 제작되고, 불량 발생했을 때 분리가 가능하도록 나사체결을 위한 홀이 존재한다. Sheet plate 부의 경우 sheet plate 와 brush holder 를 플라스틱 사출성형으로 가공이 되도록 통합시키고, brush holder 의 방향도 바꾸어서 외부에서 spring 과 brush 가 삽입되어 작업영역을 최대화 시킴으로써 놓임, 운반, 정렬, 검사, 취급, 접근, 삽입, 체결용이성을 향상시켰다. 대안 2 의 cover 부의 경우 sheet plate 와 같은 재질로 재설계된 sheet plate 부가 끼워져서 선조립이 되도록 사출성형된 후 metal, metal spring, felt-washer 등이 압입되는 것이고, sheet plate 의 경우 대안 1 과 유사하나 rubber 가 삽입되는 위치가 다르다.

재설계 대안들의 평가는 객관적인 분석이나 절차 없이 일반적으로 경험자나 최고 의사결정자의 주관적인 경험이나 기준에 의해서 이루어 지는 경우가 많은데, 이 경우에 잘못된 의사결정으로 불필요한 투자를 불러올 수도 있다^[10]. 본 논문에서는 재설계된 대안들을 설정된 평가기준에 따라서 평가하여 최적의 대안을 선정하였다.

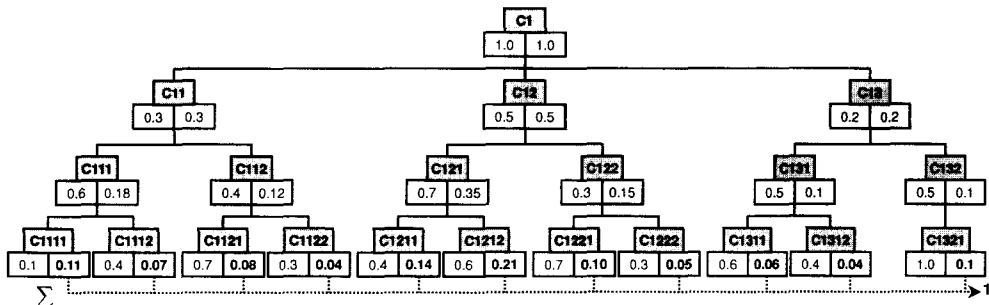
Fig. 19 는 Fig. 18 의 재설계 대안 1 과 대안 2 를 평가하기 위하여 설정된 평가기준들을 보여주고 있는데, 크게 기술적, 경제적, 조직적 기준과 그에따른 세부 기준들로 나누었다.

Evaluation criteria of redesign alternatives		
<ul style="list-style-type: none"> ■ Assemblability ■ Machinability ■ Automation possibility ■ Availability of existing facilities 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Machining cost ■ Assembly cost ■ Purchase cost of facilities ■ Purchase cost of materials 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Selection of subcontract co. ■ Permission of subcontract co. ■ Permission of decision maker

Fig. 19 Evaluation criteria of redesign alternatives

3.5 재설계 대안들의 평가

3.5.1 재설계 대안의 평가기준 설정



<p>Level 1) C1: Evaluation criteria</p> <p>Level 2) C11: Technical criteria</p> <p>Level 3) C111: Machining, assembly technique C112: Other technique</p> <p>Level 4) C1111: Assemblability C1112: Machinability C1121: Automation possibility C1122: Availability of existing facilities</p>	<p>Level 1) C1: Evaluation criteria</p> <p>Level 2) C12: Economical criteria</p> <p>Level 3) C121: Machining, assembly cost C122: Purchase cost</p> <p>Level 4) C1211: Machining cost C1212: Assembly cost C1221: Purchase cost of facilities C1222: Purchase cost of materials</p>	<p>Level 1) C1: Evaluation criteria</p> <p>Level 2) C12: Organizational criteria</p> <p>Level 3) C131: Subcontract company (External company) C132: Internal company</p> <p>Level 4) C1311: Selection of subcontract co. C1312: Permission of subcontract co. C1321: Permission of decision maker</p>
---	---	---

Fig. 20 Procedure of weight calculation of evaluation criteria

No	Evaluation criteria	Weight	Alternative 1		Alternative 2	
			Value	Weighted value	Value	Weighted value
1	Assemblability	0.11	5	0.55	9	0.99
2	Machinability	0.07	5	0.35	7	0.49
3	Automation possibility	0.08	3	0.24	9	0.72
4	Availability of existing facilities	0.04	7	0.28	3	0.12
5	Machining cost	0.14	5	0.70	5	0.70
6	Assembly cost	0.21	5	1.05	7	1.47
7	Purchase cost of facilities	0.10	5	0.50	3	0.30
8	Purchase cost of materials	0.05	7	0.35	7	0.35
9	Selection of subcontract co.	0.06	7	0.42	5	0.30
10	Permission of subcontract co.	0.04	5	0.20	5	0.20
11	Permission of decision maker	0.10	7	0.7	5	0.5
Σ		1	61	5.34	65	6.14

Fig. 21 Calculation procedure of final points of evaluation criteria

3.5.2 평가 기준들의 가중치 계산

Fig. 19에서 정의된 평가 기준들의 가중치를 구하는 이유는 각각의 평가 기준들이 똑같은 중요도로 대안들을 평가하지 않기 때문이다. 본 논문에서는 평가 기준들의 가중치를 Fig. 20과 같이 구하였다. 각 평가기준에 따른 박스 안에 있는 두 개의 점수 중에서 좌측 값은 하나의 상위 레벨에 대해서 같은 레벨에 있는 평가 기준들의 가중치를 나타내고, 우측 값은 해당 평가기준의 실질적인 가중치를 나타낸다. 예를 들면, C1111인 조립용이성과 C1112의 가공용이성의 경우 좌측값은 상위 레벨의 평가 기준인 C111의 가공, 조립 기술에 대한 가중치 0.6과 0.4를 나타내고, 우측 값은 할당된 가중치에 대한 실질적인 가중치를 나타낸다. 즉, C1111인 조립용이성의 실질적인 가중치 0.11은 상위 레벨인 C111의 가공, 조립 기술의 실질적 가중치 0.18과 할당된 가중치 0.6의 곱으로 구해진다. 이렇게 구해진 최종 레벨의 평가 기준들로 각 대안들을 평가하며 가중치들의 합은 항상 1이다.

3.5.3 최적의 재설계 대안의 선정

Fig. 20에서 구한 평가 기준들의 가중치(weight)와 각 평가기준에 대한 대안들의 중요도 값(value)을 곱하여 각 평가 기준들의 선호점수(weighted value)를 구하게 된다^[11]. Fig. 21은 평가 기준들의 중요도들을 더하여 Fig. 18의 재설계 대안 1과 대안 2의 최종적인 대안들의 최종 선호점

수를 구하는 과정을 보여주고 있다.

여기서, 각 평가기준에 대한 대안들의 중요도 값(value)은 1부터 9까지 등차가 2인 등차수열로 증가하는 균형 가중치법(balanced weighting)을 사용하였으며, 1일 때 매우 나쁨, 3일 때 나쁨, 5일 때 좋음, 7일 때 매우 좋음, 9일 때 절대적으로 좋음을 나타낸다. 즉, 평가 기준의 하나인 '조립용이성(assembly)'의 경우 대안 1은 5로 좋음이고 대안 2는 9로 절대적으로 좋다는 것을 나타낸다.

Fig. 21에서 대안 1의 최종 선호점수는 5.34이고 대안 2의 최종 선호점수는 6.14이므로 의사결정자는 대안 2를 선택하게 된다.

4. 결론

지금까지 부품과 조립공의 구조적 취약특성 때문에 수 조립으로 진행되고 있는 자동차 송풍모터의 조립용이성과 조립자동화를 위한 전체적인 재설계 절차를 제시하였다. 먼저, 재설계 하고자 하는 이유와 목적을 명확히 하고 재설계 방향을 제시하기 위해서 목적 트리를 그려서 재설계 목적을 확인하고 DFA 프로그램을 사용하여 현재의 송풍모터의 조립용이성을 평가하였다.

다음으로, 모터의 본래의 기능을 훼손시키지 않으면서 재설계를 성취하기 위해서 기능구조 모델을 사용하여 부품들의 재설계 우선순위를 정하였다. 그리고 취약공정 평가시스템을 사용하여 조립공정을 분석함으로써 취약함을 많이 발생시키는

소립균인 cover 부와 sheet plate 부를 재설계 대상으로 선정하였다.

취약정도가 높은 영향요소의 취약함을 감소시키기 위한 재설계 원칙을 도출하고 도출된 재설계 원칙에 따라서 재설계 Variants 를 생성하고 Variants 를 사용하여 형태학적 도표를 그리고 재설계 대안 1 과 2 를 생성하였다. 마지막으로, 평가기준들을 생성하여 각 평가기준들의 가중치를 구하고 각 평가기준에 따라 가중치법을 사용하여 두 대안들을 평가하여 대안 2 를 최적의 재설계 대안으로 선택하였다.

실제로 제품 재설계 분야는 전체적인 자동 조립시스템의 구축 단계 중에서 많은 시간과 노력이 소요되는 부분으로써 체계적인 절차를 수립하는 것이 무엇보다 중요하다. 앞으로 이렇게 재설계된 모터를 사용하여 조립순서와 조립자동화 메커니즘을 결정하고 workpiece carrier 및 보조재의 설계, 자동 조립 작업장간의 원활한 연결을 성취하여 자동 조립시스템을 구축해야 한다.

참고문헌

1. Redford, A., Chal, J., "Design for Assembly," McGraw-Hill, Inc., pp. 75-134, 1994.
2. Andreasen, M. M., Kahler, S. and Lund, T., "Design for Assembly," IFS Publications, UK, pp.9-148, 1988.
3. Lotter, B., "Manufacturing Assembly Handbook," Butterworths, pp.303-383, 1989.
4. Cross, N., "Engineering Design Methods," John Wiley & Sons, pp.19-76, 1994.
5. Chow, W. W.-C., "Cost Reduction in Project Design", Van Nostrand Reinhold Com., pp.266-324, 1978.
6. 목학수, 황건용, 조종래, "소형 제품에 있어 조립 생산성 향상을 위한 취약 공정 평가 시스템," 한국정밀공학회지, 15 권, 6 호, pp.64-78, 1998. 6.
7. Boothroyd, G., "Assembly Automation and Product Design," Marcel Dekker, Inc., pp.181-208, 1991 .
8. Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D., "Product Design and Development," McGraw- Hill, Inc., pp.13-32, 1995.
9. Smith, P. G., "Fast-Cycle Product Development," Eng. Manuf. Journal, vol. 2, no. 2, pp. 11-16, 1990 .
10. Harutunian, V., Nordlund, M., Tate, D. and Suh, N. P., "Decision Making and Software Tools for Product Development Based on Axiomatic Design Theory," Annals of the CIRP, Vol. 45, pp. 135-139, 1996.
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.