

조립시간과 Variant 를 고려한 제품구조 분석 시스템 System for analysis of product according to assembly time and variant

목학수 (부산대학교 산업공학과), 신현창 (부산대학교 산업공학과 대학원)
Hak-Soo Mok (Pusan National Univ.), Hyun-Chang Shin (Graduate School, Pusan National Univ.)

ABSTRACT

Structure of product, which is not considered by easy of assembly, has many hidden costs. For reduction of hidden costs, concepts of line balancing and assembly-oriented design are used. We find that parts of structure can be improved by concept of line balancing. To reduce assembly time and enhance easy of assembly, design principles are developed by concept of assembly-oriented design. And design principles for improvement are proposed and applied according to condition of the grasped parts of product structure. Therefore, we could design assembly-oriented design for better structure and low cost.

Key Words : Product structure(제품 구조), assembly-oriented design (조립지향적인 설계), Line balancing (라인 밸런싱)

1. 서 론

오늘날은 다품종을 지향하는 제품들이 증가하고, 제품의 수명주기가 예전에 비해 점점 줄어드는 추세에 있다. 이에 따라 조립 비용의 감소와 A/S 를 위한 분리성의 향상이 요구되어지고 있다. 생산 원가를 줄여 경쟁력을 가지게 하기 위해서는 제품의 잘못된 구조로 인해 발생하는 숨은 비용을 제거하는 최적화된 구조로 제품을 설계할 필요성이 요구되어 진다. 조립성 향상을 위해 다양한 연구들이 수행되어져 왔는데⁽¹⁾, 본 연구에서는 제품 구조에 대해서 분석하고, 조립 지향적인 설계와 조립 라인의 밸런싱을 적용하여 제품 구조 중에서 개선되어야 할 부분을 찾아낼 것이다. 그리고 조립 및 분리시간 단축과 조립성과 분리성의 향상을 위한 설계 원칙을 구축하고 이를 제품 설계에 적용하여, 제품 구조를 개선할 것이다.

2. 제품 구조

제품은 하나 이상의 부품들로 구성되고, 조립군은 부품이나 다른 조립군들과 체결되어 결합함으로써 사용자가 목적하는 기능을 수행하는 하나의 제품을 형성한다. 이러한 제품에서 부품들의 결합 상태를 나타내는 것을 제품 구조라고 한다. 일반적인 제품 구조는 부품의 결합 상태가 어떻게 되어 있는냐에 따라 크게 완전 계층구조, 중간 계층구조, 비 계층구조로 분류된다.⁽²⁾

2.1 제품 구조를 형성하는 구성 요소

제품은 조립 공정에서 여러 종류의 부품들로 이루

어 진다. 구성 부품들은 조립공정에서의 역할에 따라 다음과 같이 구분되어 진다⁽³⁾.

- Machine part
- Component
- Building block
- Base component
- Formless material

조립군은 2 개 이상의 부품들로 구성되며, 이 조립군에 부품이나 다른 조립군을 결합함으로써 또 다른 조립군이 만들어진다. 2 개 이상의 Component 가 조립되어 조립군을 형성하고, 하나의 조립군이 Base Component 가 되어 다른 조립군들과 부품들과 결합하여 더 복잡한 조립군을 형성하는 과정이 계속 반복되면서 조립군은 점점 복잡해지며 최종 완성된 조립군은 제품이나 Building block 의 형태로 만들어진다.

2.2 제품 구조에서 조립 및 분리의 정의

제품 구조의 복잡함 정도나 효율성 정도의 기준은 제품의 조립과 분리공정이 된다. 제품 구조는 목적하는 기능을 수행하기위해 상호 결합되어 있기 때문에 복잡한 구조나 단순한 구조, 기능 수행에는 제품구조가 미치는 영향은 거의 없다고 볼 수 있다. 제품 조립은 부품과 부품, 부품과 조립군, 조립군과 조립군을 체결요소와 소재로 결합시키는 것이다. 이와는 반대로 제품이나 조립군을, 또 다른 조립군이나 부품으로 분해하는 과정 또는 개별화되는 과정을 의미한다.

2.3 부품들간의 체결방법

제품 구조를 이루는 부품들은 영구 및 비영구 체결 또는 상호 간섭에 의해서 결합되어 진다. 체결의 방법은 제품의 크기, 모양, 체결 순서 등에 영향을 주기 때문에 제품구조의 형성과 조립 및 분리 공정에 중요한 역할을 한다. 체결요소나 체결방법의 선택과 수행은 제품구조의 복잡함에 영향을 준다. 그리고 작업공간이 협소한 제품 구조는 체결요소와 체결도구의 사용에 제약을 준다. 체결요소에는 체결을 위한 도구의 고려되어야 한다. 부품들간의 조립방법은 크게 기계적 조립과 화학적 조립으로 분류되어진다. 기계적 조립은 다시 형태변화에 의한 체결, 상 변화에 의한 체결, 간섭에 의한 체결로 분류되어진다⁴⁾.

2.4 제품의 Variant

오늘날에 생산되는 제품의 큰 특징은 그 종류가 다양함에 있다. 제품들의 종류가 다양하다는 것은 서로 상이한 제품의 수가 많아졌다기 보다는 하나의 제품에 여러 가지 다양한 부품이나 조립군을 추가 및 교체함으로써 제품의 종류를 다양하게 하는 것을 말한다. 여기서 부품이나 조립군을 제품의 Variant 라고 한다. 제품의 Variant 는 소비자의 욕구를 충족시키기 위해 적용된 개념으로 Variant 가 많을수록 제품의 제조자 입장에서는 부담이 가중된다. 또한 Variant 의 수는 제품 구조의 변화에 많은 영향을 주는 요소로 작용하게 된다. 즉, Variant 의 수가 많을수록 제품 구조가 복잡하게 된다. Fig. 1 에서 카세트에 3 종류의 Variant 부품이 있을 때 제조 가능한 제품수는 $2^3=2 \times 2 \times 2=8$ 가지가 된다.

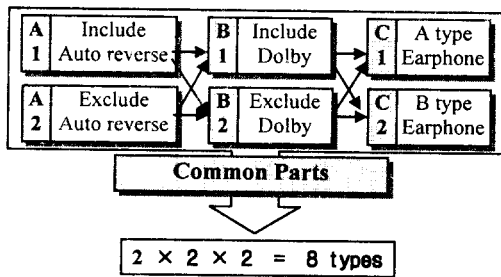


Fig. 1 Basic concept of variant

Variant 의 종류를 다음과 같이 4 가지로 분류하였다.

- 외부 기능 Variant
- 내부 기능 Variant
- 외형 Variant
- 추가 부품 Variant

3. 제품구조 분석을 위한 조립지향적인 설계와 조립 라인의 밸런싱

3.1 제품구조 분석을 위한 조립 지향적인 설계

조립 지향적인 설계라고 하는 것은 완성된 제품의 요구되는 기능을 만족시키면서 조립용이성 및 조립 생산성을 향상시키기 위한 설계 개념을 적용하는 것을 말한다. 제품을 구성하는 부품들이 얼마나 조립 지향적으로 설계되었는가를 분석하는 것은 제품 구조의 개선 여부를 판단하는 하나의 방법이 될 수 있다. 보통 제품을 개발할 때 설계는 목적하는 기능을 성공적으로 수행하는데 관심을 두어 개선해야 할 요소들을 설계 단계에서부터 많이 포함하고 있다.

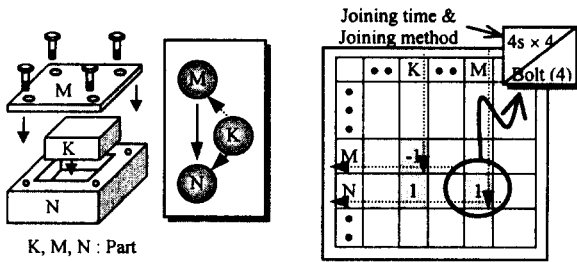
3.2 제품 구조 분석을 위한 조립 라인의 밸런싱

조립 라인 밸런싱 문제는 각 작업장에서 필요로 하는 시간이 같도록 가공 작업과 조립 작업을 조정하여 배치하는 것이다⁵⁾. 실제 상황에서는 대부분 완전한 조립 라인의 균형을 이루는 것은 매우 어렵다. 작업장간에 작업시간의 균형이 맞지 않으면 가장 느린 작업장이 전체 라인의 생산률을 결정하게 되며 이 작업장에 속한 부품들이 개선 대상이 된다.

4. 제품 구조 분석 및 제품 구조 개선 원칙

4.1 제품구조 분석을 위한 구조 데이터

제품구조의 정보를 파악하기 위해 주 구조 입력표와 보조 구조 입력표를 만들었다. 주 구조 입력표는 두 개의 부품이 서로 체결되어 있으면 해당되는 칸에 '1'의 값을 기입하고, 다른 부품과의 조립에서 선행 조립이 있는 경우에는 '-1'의 값을 기입한다. Fig. 2 의 a.에서와 같이 두 부품 N, M 이 볼트에 의해 체결될 때, 부품 N은 상대적으로 Base part가 되며, 노드 M에서 노드N으로 선을 연결하여 결합되는 방향을 화살표로 표시하고, 주 구조 입력표에서 열 부분에서 M, 행 부분에서 N을 선택하여 교차하는 칸에 '1'을 기입한다. 그리고 부품 K는 부품 M의 선행 조립 부품이 되므로 선행 조립 관계를 표시하기 위해 노드 K와 M을 점선으로 연결 후행 조립 노드 방향으로 점선 화살표를 나타내어 준다. 주 구조 입력표에서 열 부분에서 선행 조립 부품을 선택하고, 행 부분에서 후행 조립 부품을 선택하여 교차하는 칸에 '1'을 기입한다. 보조 구조 입력표에는 주 구조 입력표에 '1'이라고 기입된 칸과 동일한 위치의 칸에 조립시간과 체결방법을 기입하여 나타낸다.



a. Represent for joining parts b. Fill in structure input-table

Fig. 2 Collection of production structure

4.2 제품 구조의 개선점 분석

4.2.1 Base part 의 결정

Base part 는 다른 부품이나 조립군이 체결될 수 있는 큰 부품을 의미한다. 가장 많은 부품이 체결되어 있는 부품이 Main base part 가 되고, 조립 단계에서 가장 많은 부품이 결합되어 있는 부품이 Sub base part 가 된다. Base part 은 식 (1), (2), (3), (4)의 산출 기준에 의해 결정된다.

- 결합되는 부품의 수

$$P_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad (1)$$

여기서, P_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품의 수

P_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품 j (단, $P_{ij} \geq 0$)

- 총 결합된 부품의 수

$$Pt_i = \sum_{j=1}^n (P_{ij} + P_{ij} \cdot Pt_j) \quad (2)$$

여기서, P_{ij} 번째 부품에 결합된 총 부품의 수

P_{ij} 번째 부품에 결합된 총 부품의 수

P_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품 j (단, $P_{ij} \geq 0$)

- 결합 부품의 조립시간 합

$$T_i = \sum_{j=1}^n T_{ij} \cdot P_{ij} \quad (3)$$

여기서, T_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품들의 조립시간의 합

T_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품 j 의 조립시간

P_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품 j (단, $P_{ij} \geq 0$)

- 결합 부품의 총 조립시간 합

$$Tt_i = \sum_{j=1}^n (T_{ij} \cdot P_{ij} + Tt_j \cdot P_{ij}) \quad (4)$$

여기서, T_{ij} 번째 부품에 총 결합된 부품들의 조립시간의 합
 T_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품들의 조립시간의 합
 T_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품 j 의 조립시간
 P_{ij} 번째 부품에 직접 결합된 부품 j (단, $P_{ij} \geq 0$)

4.2.2 제품 Variant 의 표현

Variant 분류에서 외부 기능과 외형 Variant 는 제품 구조의 변경을 일으키지 않는다. 반면 추가 Variant 는 원 구조에 부품이 추가 되기 때문에 구조가 변경되며, 내부 기능 Variant 는 기능에 따라 크기, 모양, 체결위치 등이 변하여 구조가 변경된다. Variant 는 사용되는 비율에 따라 가중치를 주어 조립시간을 계산하는데 이를 Variant 조립시간이라고 하였다. 제품 구조에서 추가 Variant 와 내부 기능 Variant 의 Variant 조립시간은 다음과 같이 구한다.

$$(\text{Variant 조립시간})_{\text{추가}} = (\text{조립시간}) \times (\text{생산되는 비율})$$

$$(\text{Variant 조립시간})_{\text{내부기능}} = \sum (\text{조립시간}) \times (\text{생산되는 비율})$$

4.2.3 제품구조의 Level Tree

제품의 Level tree 는 제품의 조립 우선 순위 결정을 하기 위해 작성된다. Level tree 를 작성하기 위해서 모든 부품들을 일렬로 배열하여 Main base part 를 중심으로 조립 관계를 표시한다. 조립 관계에서 결합되는 두 부품을 비교하여 Sub base part 가 되는 부품을 한 단계 위에 표시하고, 그 부품들을 다시 비교하여 Sub base part 가 되는 부품을 다시 한 단계 위에 표시한다. 이 과정을 마지막 하나의 부품이 가장 윗 단계에 도달 할 때 까지 반복한다(Fig. 4). 최상위 단계에 있는 부품을 Level 0 로 두고 아래로 한 단계씩 내려 갈 때 마다 Level 을 1 씩 증가 시켜 나타낸다.

Level tree 에서 최소 요소 작업은 연결된 두 개의 부품이 속한 Level 을 하나의 단위 공정으로 나타내고 Level 의 값에 따라 공정의 선행이 결정되어 진다.

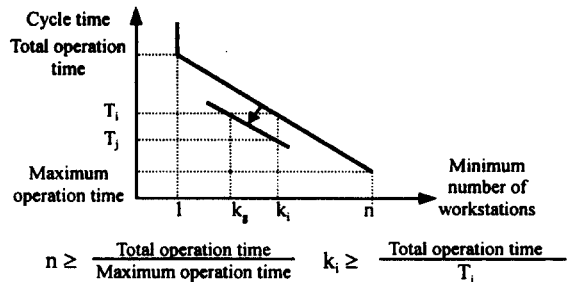


Fig. 3 Relation between cycle time and number of workstations

4.2.4 라인 밸런싱에 의한 제품 구조의 개선점 분석

Fig. 3 은 라인 밸런싱에서 사이클 타임과 작업장의

수간에 관계를 보여 주고 있다. 사이클 타임이 T_1 일 때 을 최소 작업장 수는 k_1 이다. 만약 사이클 타임을 T_2 에서 T_1 로 줄이고 작업장의 수는 k_1 로 유지한다면 조립 라인의 밸런싱은 깨어질 것이다. 이 상태에서 부품의 개선 대상을 찾기 위해 사이클 타임 T_1 에 α 의 비율 만큼 초과하는 것을 허용하여 라인 밸런싱을 계산하면 공정 시간이 T_1 를 초과하는 작업장들이 발생한다. 여기서 T_1 를 초과한 작업장에 속한 부품들이 우선적인 개선 대상 부품들이 된다. 개선 대상이 되는 부품들에서 조립 시간의 단축을 위한 설계 변경을 통해 작업장의 공정시간을 줄인다. Fig. 4 에서 구조 개선을 위한 라인 밸런싱의 과정에 대한 흐름을 보여주고 있다.

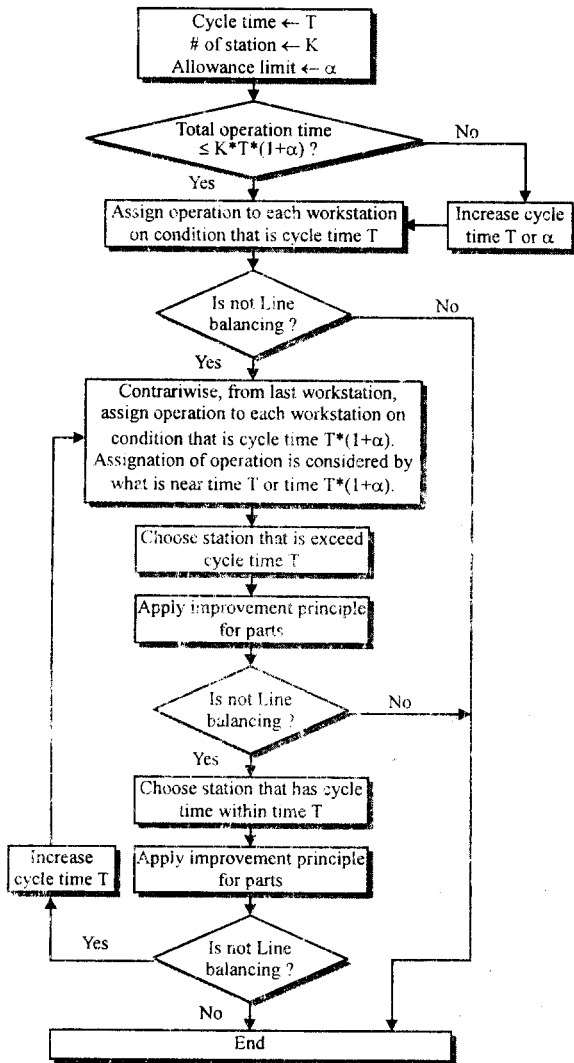


Fig. 4 Flow chart of line balancing for improvement of structure

4.3 제품 구조의 개선 원칙

제품 구조의 개선은 부품의 개선이 필수적이다. 부품을 개선하는 기준은 조립 비용의 감소이다. 이는 조립 및 분리 시간의 단축(Fig. 5)과 조립성 및 분리성의 향상을 위한 개선 원칙에 의해 이룰 수 있다. 분류된 개선 설계 원칙들은 시스템에 의해 제품 구조에서 파악된 개선점의 상태에 따라 제시되며, 사용자는 이 원칙들에서 채택과 기각을 통해 구조를 개선한다. 그리고 개선된 정보를 다시 분석하여 기존 제품과 비교하고 문제점을 파악한다.

Classification	Principle of improvement
Alteration of shape	<ul style="list-style-type: none"> • Avoid adjustment during assembly
Alteration of joining method	<ul style="list-style-type: none"> • Alteration of joining method for reduction of joining time • Alteration of joining method for reduction of disassembly time
Alteration of tool	<ul style="list-style-type: none"> • Use exclusive tools
Reduction of assemblies	<ul style="list-style-type: none"> • Remove of unnecessary parts • Integrate of parts • Avoid separate composing • Reduction of number of fastening element
Reduction of setup time	<ul style="list-style-type: none"> • Prevention of tangle • Enhancement of easy of move • Use assistant tool for arrangement

Fig. 5 Principle of improvement for reduction of assembly time and disassembly time

5. 결론

본 연구에서는 조립 지향적이지 못한 제품 구조로 인하여 발생하는 높은 비용을 줄이기 위해 라인 밸런싱의 개념을 적용하여 개선될 부분을 파악하였고, 조립 기향적인 설계를 통해 조립 및 분리 시간의 단축과 조립성 및 분리성의 향상을 위한 개선 설계원칙을 도출하고 분류하였다. 그리고 파악된 개선점의 조건에 따라 개선 설계 원칙을 제시하여 적용하게 함으로써 조립 지향적인 설계를 가능하게 하였다.

참고 문헌

1. Boothroyd G., "Assembly Automation and Product Design", Marcel Dekker, INC., 1992
2. VDI 2243 Entwart, "Konstruleren Recyclinggerechter Fechnischer Produkte"
3. M.M.Andreasen, S.Kähler, T.Lund, "Design For Assembly", IFS Publication, UK, 1988
4. 목학수의 3 명, "자동차 부품의 조립용이성과 분리용이성", 한국학술진흥재단 보고서, 1996.5.
5. Mikell P. Groover, "Automation, Production System", Prentice-Hall International Inc., 1993