

# 생산공정 및 조립을 고려한 설계

이 건 상

국민대학교 자동차공학전문대학원

## Design For Manufacture and Assembly(DFMA)

LEE Kun-Sang

Graduate School of Automotive Engineering, KOOKMIN UNIVERSITY

### ABSTRACT

Design and manufacturing (or production) must be closely interrelated. They should never be viewed as separate disciplines or activities. Each part or component of a product must be designed so that it not only meets design requirements and specifications, but also can be manufactured and assembled economically, ecologically and with relative ease. This approach improves productivity and allows a manufacturer to remain competitive. This broad view has become recognized as the area of design for manufacture and assembly(DFMA). Here the principles of the DFMA and their some examples are reviewed.

**Key words:** design for Manufacture, Design for Assembly, Overall layout design, Material Process, Material Selection, Interface Design

### 1. 서 론

설계와 생산은 서로 밀접하게 연관되어 있으므로 이들을 별개의 분야나 활동으로 간주해서는 안된다. 공학제품과 그 구성부품은 설계요구사항을 준수하여야 하는데, 이 요구사항은 크게 세가지 분야로 나눌 수 있다. 즉 기술적 측면에서의 기능성, 경제적 측면에서의 경제성 그리고 환경적 측면에서의 친환경성이 그것이다. 생산공정과 조립을 고려한 설계란 특히 기능성과 경제성에 직접적으로 연결된 설계방법이라 할 수 있다. 이를 통하여 생산성을 향상시키며, 동시에 제조업체는 경쟁력을 갖게 된다.

생산공정을 고려한 설계는 설계과정을 재료, 가공방법, 공정계획, 조립, 시험, 품질관리 등과 연계시키는 제품생산의 종합적인 접근방법이다. 생산공

정을 고려한 설계가 효과적으로 이루어지려면 설계자는 재료, 가공방법, 관련작업, 기계, 장비 등의 특성, 성능, 한계에 대하여 근본적으로 이해하고 있어야 한다. 이 외에도 기계성능의 가변성, 표면정도, 소재치수의 정확도, 가공시간, 가공방법이 제품의 품질에 미치는 영향과 같은 특성도 파악하고 있어야 한다.

개별부품들이 제조된 후에는 하나의 제품으로 조립된다. 조립은 전체의 가공작업 중에서 중요한 단계이며, 각 부품을 붙여나갈 때 쉽고 빠르고 경제적이어야 한다. 또한 많은 제품들은 유지관리, 보수, 부품의 재활용을 위해 비교적 쉽고 짧은 시간 내에 분해될 수 있도록 설계되어야 한다. 제품비용 중에서 조립작업의 비중이 상당히 높으므로, 조립과 분해를 고려한 설계가 가공에서 중요한 분야로 인식되고 있다. 또한 생산공정 및 조립에 대한 주의 깊은 고려는 가능한 한 설계 초기단계에 이루어져야

<sup>†</sup>E-mail: kslee@kookmin.ac.kr

하는데, 그 이유는 최종 제품가격의 70% 이상이 이미 설계단계에서 결정되기 때문이다.

여기서는 생산공정과 조립을 고려한 설계에 필요한 기본원칙과 이에 따른 구체적 설계지침의 예를 몇 가지 소개한다.

## 2. 생산공정을 고려한 설계

설계에서의 결정 사항이 생산원가, 생산시간 및 생산품의 품질에 막대한 영향을 미친다는 것은 잘 알려진 사실이다. 생산공정을 고려한 설계란 제품이 요구하는 품질을 유지하면서 생산원가와 생산시간을 최소화하는 설계를 의미한다.

생산이란 일반적으로 다음과 같은 내용을 포함하고 있다.

- 좁은 의미로는 공인된 공정을 사용한 요소부품의 생산(1차 성형, 2차 성형, 재료제거, 결합, 다듬질 작업, 재료특성 변화)
- 요소부품의 운반을 포함한 조립, 품질검사, 물류, 작업계획

표 1에서는 설계자가 생산의 효율화에 미치는 영향 및 설계와 생산의 상호 의존성에 대해서 나타냈다. 생산공정의 효율화와 직접적으로 관련된 내용 중 설계자가 결정하여야 할 것은 다음과 같다.

- ① 적절한 전체 배치설계 : 생산품을 조립품과 개별적인 요소부품으로 분류하여 생산공정을 결정함(사내 제작부품, 구매부품, 신부품, 반복부품, 표준부품).
- ② 요소부품의 적절한 형상설계 : 생산과정 및 공정, 요소부품의 품질을 결정함.
- ③ 적절한 재료의 선정 : 생산과정 및 공정, 물류, 품질관리를 결정함.
- ④ 적절한 표준부품 및 구매부품의 사용 : 생산능력, 저장 및 원가에 영향을 줌.
- ⑤ 적절한 문서화 : 생산과정 및 공정, 품질관리에 적합하게 작성되어야 함.

### 2.1. 적절한 전체 배치설계

(Appropriate overall layout design)  
기능구조를 더욱 발전시킨 전체 배치설계를 통해

표 1. 설계와 생산의 관계

설 계	생 산
1. 전체 배치설계:	
- 조립품	- 생산공정
- 요소부품	- 조립 및 운반 가능성
- 구매부품	- 유사부품의 일괄 생산량
- 연결 및 조립	- 사내 제작품 및 구매부품의 비
- 운반 도구	- 품질관리
- 품질관리	
2. 요소부품 형상설계:	
- 형상 및 치수	- 생산과정
- 표면 다듬질	- 생산수단, 공작기계
- 공차	- 측정기기
- 한계 및 끼워맞춤방식	- 사내제작 및 구매부품
	- 품질관리
3. 재료선정:	
- 재료의 종류	- 생산과정
- 처리	- 생산수단, 공작기계
- 품질관리	- 자재취급 (구매, 저장)
- 반다듬질 재료	- 사내제작 및 구매부품
- 구입 가능성	- 품질관리
4. 표준규격부품 및 구매부품:	
- 반복부품	- 구매
- 표준규격 부품	- 저장
- 구매부품	- 재고 관리
5. 생산문서:	
- 작업장 도면	- 주문의 실행
- 부품표	- 생산계획
- 데이터베이스	- 생산관리
- 조립안내서	- 품질관리
- 시험안내서	- CAM, CAP, CAQ, CIM

서 제품을 조립품과 요소부품으로 나눌 수 있게 된다. 설계자는 전체배치를 사용하여 다음과 같은 작업을 진행한다.

- ① 요소부품을 분류한다. 즉, 사내제작품인가, 구매부품인가, 규격 또는 반복부품인가를 결정하게 된다.
- ② 생산과정을 결정한다. 예를 들어 개별적인 요소부품 또는 조립품의 병렬생산이 가능한가를 결정하게 된다.
- ③ 치수와 유사 요소부품에 대한 적절한 일괄 생산량, 그리고 결합과 조립방법을 결정한다.

- ④ 적절한 끼워맞춤방식을 선정한다.
- ⑤ 품질관리 공정에 영향을 준다.

또한 역으로 기계의 능력, 조립 및 운반능력 등과 같은 생산의 한계성은 전체적 배치를 선택할 때에 영향을 미치게 된다.

전체적 배치를 적절히 분류하여 구성의 세분화 방법, 구성의 통합화 방법, 구성의 복합화 방법 또는 구성의 블록화 방법으로 발전시킬 수 있다.

### 2.1.1. 구성의 세분화 방법

(Differential construction method)

구성 of 세분화에서는 한가지 요소부품(하나 또는 몇 가지 기능을 수행하는 기능반)을 생산하기 쉽도록 몇 가지 부품으로 나누게 된다. 이러한 아이디어는 경량화 공학으로부터 파생된 것으로, 이것은 처음에는 부하수용능력을 최적화할 목적으로 도입되었다. 이것의 장단점은 다음과 같다.

#### ■ 장점:

- 쉽게 구입 가능한 그리고 가격이 적절한 반다듬질 재료 또는 표준부품의 사용
- 기존 공장 배치(치수, 무게)에의 손쉬운 적용화
- 요소부품 일괄생산량의 증가
- 조립 및 운반을 쉽게 할 수 있도록 요소부품 치수의 감소
- 간단한 검사(더 작은 요소부품 및 더 많은 일괄 생산량)
- 손쉬운 보수, 예를 들어 마모 부품의 간단한 교체
- 특정한 요구 조건에의 손쉬운 적용화
- 납기일을 지키지 못하는 것과 같은 위험의 감소

#### ■ 단점:

- 더 많은 기계가공 비용
- 더 많은 조립 비용
- 품질관리에 대한 더 큰 필요성(더 작은 공차, 필수적인 끼워 맞춤 등)
- 연결 부위에 의한 기능의 제약(강성, 진동, 밀봉)

### 2.1.2. 구성의 통합화 방법(Integral construction method)

구성의 통합화에서는 몇 가지 부품을 조합하여

단일 요소부품으로 만들게 된다. 전형적인 예로는 용접구조 대신 주조구조를, 결합부분 대신 사출구조를, 나사결합 대신 용접구조를 사용하는 것 등을 들 수 있다. 경량화 공학에서는 이러한 구조 형태를 용력 집중을 피하고, 무게를 감소시키기 위하여 자주 사용한다.

이 방법은 몇 가지 기능을 하나의 요소부품에 통합화시킬 수 있다는 경제적인 장점 때문에 생산의 최적화를 위해서 자주 사용되고 있다. 이 방법은 실제적으로 특정한 기술적 상황, 생산 상황 및 외주 관리 상황에서, 특히 노동 집약적인 생산에서 유리하게 사용될 수 있다.

구성의 통합화 방법의 장·단점은 구성의 세분화 방법의 장·단점을 역으로 생각하면 된다.

### 2.1.3. 구성의 복합화 방법

(Composite construction method)

구성의 복합화 방법에서는 다음과 같은 작업이 가능하다.

- 다양한 방법으로 생산된 몇 가지 부품들을 다음 단계의 작업을 위하여 단일의 요소부품으로 분리할 수 없게 결합시키게 된다. 주조부품과 단조부품의 결합을 예로 들 수 있다.
- 요소부품들을 연결하기 위해서 몇 가지 결합 방법들을 동시에 적용하게 된다.
- 재료들의 특성을 최적으로 사용하기 위해 다양한 재료를 결합하게 된다.

### 2.1.4. 구성의 블록화 방법

(Building-block construction method)

구성의 세분화 방법을 이용하여 요소부품을 다른 제품에도 사용될 수 있는 부품이나 조립품으로 나누는 데에 사용되면, 그것들을 블록(Building-block)이라 부른다. 그러한 블록들을 경제적으로 생산할 수 있으면 이 방법은 매우 유용하다. 이러한 의미에서 창고에 재고 형식으로 저장된 반복부품(Repeat parts)을 사용하는 것도 구성의 블록화 방법이라고 할 수 있다.

## 2.2. 요소부품의 적절한 형상설계

(Appropriate form design of components)

설계자는 요소부품의 형상을 설계할 때에 생산원

가, 생산시간 및 품질에 막대한 영향을 주게 된다. 따라서 형태, 치수, 표면다듬질, 공차 및 연결 부분의 선택은 다음에 영향을 주게 된다.

- 생산공정
- 공구 및 측정 장비를 포함한 공작기계
- 사내 제작 부품과 구매 부품 사이의 선택
- 재료 및 반다듬질 재료의 선정

○ 품질관리 공정

역으로 생산능력이 설계 양상에 영향을 미치게 된다. 따라서 어떠한 공작 기계를 사용할 수 있는가에 따라서 요소부품의 한계치수가 결정되고, 이에 따라 몇 개의 요소부품으로 나눌 것인가 또는 구매 요소부품을 사용할 것인가가 확정되게 된다.

여기서는 근본적인 설계방안의 예를 몇 가지 나

PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
Pa	Choose simple shapes for patterns and cores (straight lines, rectangles).	C		
Pa	Aim at undivided patterns, if possible without cores (e.g. by means of open cross sections).	C		
Pa	Provide tapers from the split-line.	Q		
Pa	Arrange ribs so that pattern can be removed, avoid undercuts.	Q		
Pa	Ensure accurate location of cores.	Q		
Ca	Avoid vertical sections (bubbles, blowholes) and reduced cross-sections to the risers.	Q		

그림 1. 주조부품을 위한 설계지침의 예

PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
To	Avoid rounded edges and sharp angles.	C		
Si	Avoid sharp edges, sharp angles and tangential transitions.	Q		
Si	Observe dimensional limits and relations. Height H/Width W < 2.5 Wall thicknesses t > 2 mm Holes d > 2 mm.	Q		
Si	Avoid small-toothed profiles.	Q		
Si	Avoid excessively small tolerances.	Q		

그림 2. 소결부품을 위한 설계지침의 예

타낼 것이며, 분류 기준은 요소부품의 생산에 사용되는 공정단계(Process steps, PS)다. 또한 각각의 설계지침에 원가절감(C) 및 품질개선(Q)이라는 목표를 지정하였다. 설계자는 요소부품을 설계할 때에 이러한 공정단계 및 목표를 항상 염두에 두어야 한다.

2.2.1. 1차 성형가공을 고려한 형상설계

주조 및 소결(燒結, sintering) 등과 같은 1차 가공공정에 의해 성형되는 요소부품의 형상설계는 사용되는 공정의 요구 및 특성을 만족시켜야 한다. 주조부품(유체 상태에서부터 얻어진 1차 형상)에서는 설계자는 다음의 공정 단계를 허용하여야 한다:

주형(pattern, Pa), 주조(casting, Ca) 및 기계가공(machining, Ma).

소결부품(분말 상태에서부터 얻어진 1차 형상)을 설계할 때에는 설계자는 공구가공(tooling, To) 및 소결(sintering, Si)을 허용하여야 한다. 그림 1과 2에서는 대표적 설계지침을 몇 가지 제시하고 있다.

2.2.2. 2차 성형가공을 고려한 형상설계

2차 가공공정(자유단조, 드롭단조(Drop forging), 냉간압출, 인발 및 굽힘 가공)에 의해 성형되는 요소부품의 형상을 설계할 때에는 아래에 열거한 지침을 따라야 한다. 자유단조 시에는 복잡한 장치(예

PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
To	Avoid undercuts.	C		
To	Provide tapers.	C		
To	Aim for split lines at about half height perpendicular to smallest height.	C		
To	Avoid bent split lines.	C Q		
To Fo	Aim at simple, if possible rotationally symmetrical, parts. Avoid great protrusions.	C		

그림 3. 단조부품을 위한 설계지침의 예

PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
To Ex	Avoid undercuts.	Q C		
Ex	Avoid tapers and excessively small diameter differences.	Q		
Ex	Provide rotationally symmetrical parts without material protrusions, otherwise split and join.	Q		
Ex	Avoid sharp changes in cross section, sharp edges and fillets.	Q		
Ex	Avoid small, long or lateral holes and threads	Q		

그림 4. 압출부품을 위한 설계지침의 예

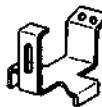


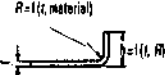






PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
Be	Avoid complex bent parts (material waste); rather split and join.	C		
Be	Allow for minimum values of bending radii (bulging in the compression area and overstretching in the tension area) flange height and tolerances.	Q		
Be	Provide sufficient distance between pre-pierced holes and bend.	Q		
Be	Aim at holes and notches to cross the bend when it is not possible to provide the minimum gap.	Q		
Be	Avoid sloping edges and tapers in the region of the bend.	Q		

그림 5. 굽힘가공부품을 위한 설계지침의 예

를 들면, 다이)가 사용되는 것이 아니므로, 실제의 단조공정만 고려하면 된다.

드롭단조(drop forging)에서는 공구가공(To), 단조(Fo) 및 기계가공(Ma)의 공정단계를 허용하여야 한다(그림 3).

그림 4에서는 단순한 회전대칭 형상의 속이 찬 물체 및 속이 빈 물체의 냉간압출 시 필요한 설계지침을 제시하고 있다. 여기서는 공구가공(To) 및 압출(Ex)의 공정단계를 고려하여야 한다.

굽힘가공(냉간굽힘)은 정밀공학 및 전기공학에서 금속 판재부품의 생산에 사용되며, 일반적인 기계공학에서 케이싱(Casing), 피복재(Cladding) 및 공기통로(Air ducts)의 생산에 사용되는데, 이것은 두 가지의 가공단계로 이루어져 있으며, 절단(cutting, Cu)과 굽힘(bending, Be)이 그것이다. 따라서 설계자는 두 가지를 모두 고려하여야 한다(그림 5).

### 2.2.3. 분리가공을 고려한 형상설계

여기서는 기하학적으로 정의된 절삭날을 사용한 기계가공(선삭, 보링, 밀링), 기하학적으로 정의할 수 없는 절삭날을 사용한 기계가공(연삭) 및 분리(절단)에 대해서만 다루고자 한다. 설계자는 모든 분리가공 공정에서 고정용 공구를 포함한 공구가공

(To)과 기계가공(Ma)을 고려하여야 한다(그림 6, 7, 8, 9).

### 2.2.4. 결합가공을 고려한 형상설계

용접은 세 가지 가공공정을 포함하고 있는데, 준비(Preparation, Pr), 용접(We) 및 마무리(Fi)가 그것이다(그림 10).

## 2.3. 재료 및 반다듬질 재료의 적절한 선정

### (Appropriate selection of materials)

기능, 작동원리, 배치 및 형상설계, 안전, 인간공학, 생산, 품질관리, 조립, 운반, 조작, 보수, 원가, 납기 및 재활용의 특성 사이의 상호작용 때문에 재료 및 반다듬질 재료를 최적으로 선택하는 것이 어렵다. 값비싼 재료가 포함되어 있는 경우일지라도, 재료가 올바르게 선택된다면 경제적으로 매우 중요한 의미를 띠게 된다. 선정된 재료와 그에 따른 공정 및 요소부품의 기계가공, 품질과 시장 조건 등이 다음 사항에 영향을 준다.

- 생산공정
- 공작기계 및 공구, 측정기기의 선택
- 재료의 구매 및 저장과 같은 자재취급(material

PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
To	Provide adequate tool runout.	Q		
To	Aim for simple tool shapes.	C		
To	Avoid grooves and tight tolerances on inner surfaces.	C Q		
To	Provide for adequate clamping.	Q		
Ma	Avoid excessive machining, e.g. replace high collars by separate parts.	C		
Ma	Adapt working length and surface finish to the required function.	C		

그림 6. 선삭가공부품을 위한 설계지침의 예

PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
To Ma	Where possible, use boring tools on blind holes.	C Q		
To Ma	Provide starting and finishing flats for holes breaking through angled surfaces.	Q		
To	Aim for continuous holes, avoiding blind holes.	C		

그림 7. 보링가공부품을 위한 설계지침의 예

PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
To	Aim for straight milling surfaces; form tools are expensive; select dimensions for gang milling.	C		
To	Provide runouts for edge mills; edge milling is cheaper than end milling.	C Q		
To	Adapt runout to milling tool diameter. Avoid long milling cuts by selecting curved surfaces (e.g. slots).	C		
Ma	Arrange surfaces on one level and parallel to the clamping.	C Q		

그림 8. 밀링가공부품을 위한 설계지침의 예

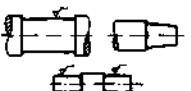
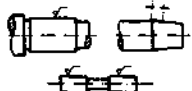
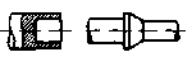
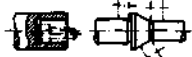


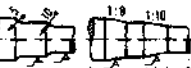

PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
To	Avoid edge limitations.	C Q		
To	Provide runouts for grinding wheels.	Q		
To	Aim for unimpeded grinding by appropriate selection of surfaces.	C Q		
To Ma	Give preference to equal blend radii (if no runout possible) and to equal tapers.	C Q		

그림 9. 연삭가공부품을 위한 설계지침의 예







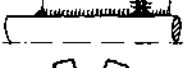







PS	Guidelines	Objective	Wrong	Right
Pr	Prefer solutions with few parts and weld seams.	C		
Pr We Fi	Aim for easily weldable seams if loads permit.	C		
Pr We	Avoid build-up of weld material and intersecting weld seams.	C Q		
We	Reduce residual stresses due to shrinkage by appropriate choice of weld seams and welding sequence, and also of connecting sections of low stiffness (flexible tongues and corners).	Q		
We	Aim for good accessibility.	C Q		
We Fi	Ensure positive location of the components prior to welding.	Q		
Fi	Allow sufficient material for machining after welding.	Q		

그림 10. 용접가공부품을 위한 설계지침의 예

handling)

- 품질관리
- 사내 제작 부품과 구매 부품 사이의 선택

설계, 생산공정 및 재료공학 사이의 밀접한 관계성 때문에 설계자, 생산기술자, 재료전문가 및 구매자 사이에는 적극적인 협력이 이루어져야 한다.



#### 2.4. 표준 요소부품 및 구매 요소부품의 적절한 사용(Appropriate use of standard and bought-out components)

설계자는 특별히 제작될 필요가 없고, 쉽게 구입할 수 있는 반복(repeat), 표준(standard) 또는 구매(bought-out) 부품과 같은 요소부품을 사용하도록 항상 노력하여야 한다. 이러한 방법으로 설계자는 매우 유리한 공급 및 저장 조건을 획득할 수 있게 된다. 쉽게 구입 가능한 구매부품은 많은 경우에 사내 제작 부품보다 저렴하다.

어떤 요소부품은 사내에서 제작하고, 어떤 것은 구매해야 할 것인가 하는 결정은 다음의 조건에 따라 달라진다.

- 부품의 수(일회성 생산, 일괄생산, 또는 대량 생산)
- 특별 주문에 의한 생산인가, 또는 일반적 시장 요구에 따른 생산인가
- 시장조건(원가, 재료와 구매부품의 납기)
- 기존 생산능력의 활용 가능성
- 노동조건
- 기존의, 또는 요구되는 자동화의 정도

이러한 인자들은 사내생산이 하청생산보다 더 효율적인가 하는 결정 뿐만 아니라, 설계방법에도 영향을 준다. 불행하게도 이러한 인자들의 대부분은 시간에 따라 변화한다. 이것은 어느 특정한 결정은 그 결정이 이루어진 시간에만 유효하고, 시장조건이나 노동조건 그리고 생산능력이 변화한 후에는 더 이상 맞지 않을 수도 있다는 것을 의미한다. 특히 중공업 분야에서의 일회성 생산품이나 일괄생산품의 경우에는 생산 및 시장조건을 정기적으로 재검토하여야 한다.

#### 2.5. 적절한 문서화(Appropriate documentation)

생산 관련 문서(도면, 부품표, 조립지침서의 형태)가 원가, 납기, 품질 등에 미치는 영향이 과소 평가되는 경우가 자주 있다. 그러한 문서의 구성, 명확성 그리고 포괄성은 특히 고도로 기계화되고 자동화된 생산 방법에서 엄청난 영향을 미친다. 이러한 것들은 업무의 실행, 생산계획, 생산관리 및 품질관리를 결정하게 된다.

### 3. 조립의 평이성을 고려한 설계

#### 3.1. 조립의 종류

설계자는 요소부품의 생산원가 및 품질 뿐만 아니라, 조립비용 및 조립품질에도 주된 영향력을 행사하게 된다. 조립이란 요소부품들을 하나의 생산품으로 조합하는 작업과 생산 도중과 생산 후에 필요한 부가적인 작업을 의미한다. 조립비용 및 품질은 작업의 종류와 수, 그리고 그의 실행에 따라 달라진다. 작업의 종류와 수는 차례대로 생산품의 배치 설계(Layout design)와 생산의 종류(일회성 생산 또는 일괄생산)에 영향을 받는다.

조립의 평이성을 고려한 설계 지침들은 일반적인 고려사항 이상의 것은 아니다. 이러한 지침의 목적은 단순화, 표준화, 자동화 및 품질 보장이다.

조립작업에는 다음의 기본적인 작업들이 포함되어 있다.

- 조립될 부품들을 가능하면 체계적인 방법으로 저장작업(storing, St)을 수행하여야 한다. 자동조립을 위해서는 부품공급 및 연결부품 공급의 프로그램화가 필수적이다.
- 아래 사항을 고려하여 요소부품의 핸들링작업(handling, Ha)을 수행하여야 한다.
  - 조립자나 로봇에 의한 부품의 식별작업(Identifying).
  - 필요하다면 개별적인 선별이나 배포와 연관된 부품의 집기작업(Picking-up).
  - 필요하다면 분류, 조작(Manipulation) 등과 관련하여 조립장소로의 부품의 이동작업(Moving).
- 위치잡기작업(Positioning, Po) (조립을 위하여 부품을 올바른 장소에 놓음)와 정렬(Aligning) (결합 전과 혹은 가능하다면 후에도 부품의 위치를 최종적으로 조정함).
- 적절한 연결상태를 보장하면서 부품들의 결합작업(joining, Jo)을 수행하여야 한다. 다음의 작업들이 여기에 포함된다.
  - 예를 들어 삽입, 겹침(Superposing), 매달기(Suspending) 또는 접기(Folding)에 의하여 함께 모음.
  - 예를 들어 담그기(Soaking)에 의한 채움

(Filling).

- 예를 들어 나사 체결, 조임(Clamping) 또는 억지끼워맞춤에 의한 함께 누름(Pressing).
- 예를 들어 용융, 주조 및 가황처리(Vulcanizing) 등과 같은 1차 가공에 의한 결합.
- 예를 들어 굽힘 또는 부가적인 부품을 사용하는 것과 같은 2차 가공에 의한 결합.
- 예를 들어 용접, 납접 또는 접착제의 사용 등과 같은 재료의 조합에 의한 결합.
- 공차를 균등화하거나 요구되는 틈새를 만들어 내는 것과 같은 조정작업(Adjusting, Ad).
- 작동중예 의해서 발생하는, 조립된 부품들의 원하지 않는 움직임을 막아주는 보장작업(Securing, Se).
- 검사작업(Inspecting, In). 자동화의 정도에 따라서 가급적이면 개별적인 조립작업 사이에서 다양한 시험 및 측정작업이 수행되어야 한다.

이러한 작업들은 모든 조립공정에 포함되어 있지만, 그의 중요도, 순서 및 빈도수는 조립품의 수일 회성 조립, 일괄조립)와 자동화의 정도(수작업에 의한, 반자동화 또는 완전 자동화된 조립)에 따라 다르게 나타난다.

조립작업 또는 조립셀의 연결이라는 관점에서 보아, 그 종류를 다음과 같이 나눌 수 있다: 분기되지 않은(Unbranched), 분기된(Branched), 단층(Single level)의, 또는 다층(Multi-level)의 조립. 조립공정은 정적(Stationary)이거나 동적(Flowing)일 수 있다. 또한 조립작업이 공장에서 이루어지는가, 또는 현장에서 전문가 또는 덜 숙련된 인력 또는 소비자에 의해서 이루어지는가 하는 것이 중요하다. 일반적으로 자동화된 조립을 개선하는 것은 수작업에 의한 조립 또한 단순화시키며, 이것은 역으로도 성립한다. 조립의 종류와 구체적 형상은 서로 밀접한 관계를 맺고 있으므로, 이것들은 서로 영향을 미친다.

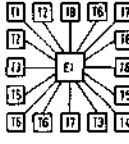
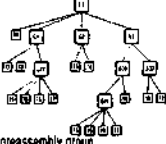
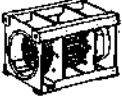
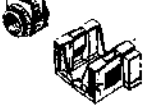


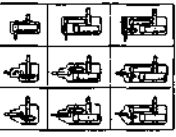

Oper.	Guidelines	Type	Wrong	Right
<b>Arrange assembly operations</b>				
St Ha Po Jo Ad Se In	Arrange in assemblies to enable stepwise assembly with pre and end assembly.	MA AA		
Ha In	Arrange in independent assembly groups, eg to allow parallel assembly	MA AA		
Jo	Avoid production operations during assembly.	MA AA	ream together 	
Jo Ad In	Structure a variant product programme such that variants are created towards the end and at the same place in the assembly sequence.	AA		

그림 11. 조립의 평이성을 고려한 배치설계를 위한 설계지침의 예

### 3.2. 조립작업을 고려한 배치의 설계

조립작업을 고려한 배치는 다음에 의해서 얻어질 수 있다.

- 조립작업의 체계화
- 조립작업의 감소화
- 조립작업의 표준화
- 조립작업의 단순화

이에 따라 조립공정이 개선되므로 경비절감이 이루어지고, 조립작업이 관리하기에 더 분명하고 쉬워지므로 생산품의 품질을 보증할 수 있게 된다. 이렇게 하여 선정된 배치는 요소부품의 수를 감소시킬 수 있거나, 또는 최소한도 요소부품의 표준화를 이루게 한다. 조립의 평이성에 초점을 맞춘 구체설계 지침이 그림 11에 제시되어 있다. 여기서 열(列)에 표시된 “작업(Operation)”은 특정한 구체적인 지침에 의해서 1차적으로 영향을 받는 조립 작업을 의미하고 있다. 세 번째 열은 그 지침에 의해서 수작업에 의한 조립(manual assembly, MA)이 개선될 수 있는가, 또는 자동화된 조립(automated assembly, AA)이 개선될 수 있는가, 또는 두 개 모두 개선될

수 있는가를 나타내고 있다. 이러한 분류는 특정한 조립 상황에서 구체 설계 지침을 선정하고 사용하는 것을 쉽게 해 준다.

### 3.3. 조립작업을 고려한 연결부위의 형상설계

조립작업을 개선시키는 또 다른 중요한 것은 배치에 의해서 영향을 받는 연결부위(Interfaces)의 설계이다. 여기서도 목적은 다음과 같다.

- 연결부위의 감소화
- 연결부위의 표준화
- 연결부위의 단순화

이를 통해서 연결 요소부품의 수와 조립작업의 수를 감소시킬 수 있으며, 연결부위의 부품(Interfacing elements)에 요구되는 품질을 최소화 할 수 있다 (그림 12).

### 3.4. 적용 및 선정을 위한 지침

연결부위 요소부품의 설계는 연결부위의 설계와 밀접한 관련을 맺고 있다. 그의 목적은 다음과 같다.

- 자동화된 저장 및 핸들링의 가능성
- 자동화된 저장 및 핸들링의 단순화

Oper.	Guidelines	Type	Wrong	Right
<b>Reduce interfaces</b>				
St Ha Jo Ad Se	Reduce connecting elements, eg by using clamp and snap connectors	MA AA		
St Ha Jo	Reduce connecting elements by using special connecting elements.	MA AA		
St Jo Se	Aim for direct connections without connecting elements.	MA AA		
Pe	Aim for self-adjustment and positioning.	AA		
Se	Prefer self-locking connecting elements, eg through elastic-plastic deformation.	AA		

그림 12. 조립의 평이성을 고려한 연결부위설계를 위한 설계지침의 예

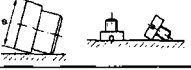



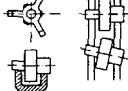
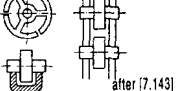
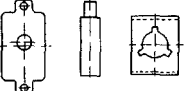
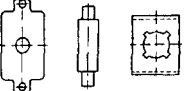
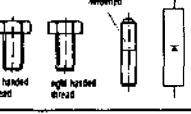
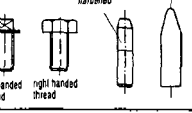
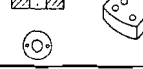

Oper.	Guidelines	Type	Wrong	Right
<b>Enable and simplify automatic storage and handling</b>				
St	Prefer interface elements having a stable position.	AA		
St	Avoid identical interface elements that can interlock.	AA AA		 after [7.149]
St Ha	Aim for interface elements that can roll	AA		 after [7.143]
Ha	Aim for symmetric contours when a specific position is not required.	AA		
Ho	Aim for geometric identifiers.	AA		
Ha	Prefer indentifiers on the outer contour.	AA		 after [7.42, 7.149]

그림 13. 조립의 평이성을 고려한 연결부위 요소부품설계를 위한 설계지침의 예

자동화된 저장 및 핸들링은 연결부위 요소부품의 식별(Identification), 정돈(Ordering), 집기(Picking up) 및 이동(Moving)을 포함하고 있다. 이것은 특히 자동화된 조립용 기계(AA)를 사용할 때 중요하다. 그림 13은 이에 대한 설계지침을 보여 주고 있다.

결론적으로 말해서, 핵심적인 지침은 기본적인 원칙인 단순성(단순화, 표준화, 감소화)과 명확성(과도한, 그리고 모자라는 제한 조건의 회피)으로부터 도출될 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 생산공정 및 조립을 고려한 설계의 기본원리와 이에 필요한 구체설계의 지침 중 몇 가지 예를 살펴보았다. 생산공정 및 조립을 고려한

설계는 제품의 전체수명주기를 고려한 친환경적 설계의 일부분으로 점점 그 중요성이 부각되고 있다. 설계자는 설계의 궁극적 목표가 제품의 구체화(즉 생산)라는 사실을 염두에 두어, 생산과 관련된 요구사항을 설계에 반영하는 작업에 익숙하여야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. 한동철, 천길정, 이진상 역, 공학설계론, 동명사.
2. Kalpakjian, Manufacturing Processes for Engineering Materials, 3<sup>rd</sup> Edition, Addison Wesley.
3. G. Boothroyd, P. Dewhurst, Product Design for Manufacture and Assembly. 2<sup>nd</sup> Edition, Marcel Dekker, Inc.

OK