

부품 코드체계를 이용한 수조립 애로공정의 파악

목학수*, 문광섭*, 박홍석**

Analysis of the Weak Manual Assembly Process with Part Coding System

Hak-Soo Mok*, Kwang-Sup Moon*, Hong-Seok Park**

ABSTRACT

In this paper, part features are classified and then its coding system is constructed by the considered characteristics of features in assembly process. Analyzing the characteristics of features, code values about part features are determined. Assembly process is divided into five functions such as transporting, handling, approaching, alignment and joining, and then the detail parameters of each function are determined. Code values about assembly process are determined according to detail parameters. The detail parameters are kinds of available working method and assembly tools when each assembly function is going on. By the coding system, available assembly process can be grasped and perceived for the part that it is difficult to assemble.

Key Words : Geometrical features (형상 특징요소), Coding system(코드체계), Manual assembly (수조립)

1. 서론

우리나라 제조업체가 결정해야 할 당면 과제 의 하나로 생산성 향상 문제가 논의 되고 있다. 그런데, 대부분의 제조업체는 다품종소량 생산형태를 취하고 있으며, 다품종소량생산형태의 특징 이라고 할 수 있는 생산품목의 다양성, 생산공정 의 다양성, 생산능력의 복잡성, 공정 및 일정계획 의 곤란성 등과 같은 현장에서 파생되는 여러 문 제점들이 제조업체의 생산성을 저하시키고 있다. 다품종소량생산의 문제점 해결과 생산효율향상을 목적으로 개발되어 있는 여러가지 기법중의 하나 가 그룹테크놀로지 (Group Technology)이다¹⁾. GT 는 지금까지 컴퓨터 응용설계(CAD)나 컴퓨터 응용제조(CAM)에서 주로 제품의 가공을 위해 제품

의 형상을 분류, 그룹화하는데 이용되어 왔다.

Fig. 1 은 지금까지 개발된 몇가지 GT 분류 시 스템의 종류와 특징을 나타낸 것으로서 기존의 GT 분류 시스템은 제품의 형상에 따른 제조에 중 점을 두고 개발된 것이다. 즉, 기존의 분류코딩 시 스템은 부품의 기하학적 형상이나 부품의 기계가 공 특성, 설계 특성이 유사한 부품을 모아서 부품 가공이나 부품설계에 있어서 유사성을 최대한으로 이용하기 위한 목적으로 코드가 표현되었다. 분류 코딩시스템의 전형적인 예인 아헨(Aachen) 시스템 의 기본구성은 부품의 일반적 분류, 부품의 상세 한 형상과 가공과의 관계를 나타내는 5 자리 형상 코드와 치수, 재질, 소재의 원래 형상, 정도 (accuracy)를 나타내는 4 자리의 보조코드로 구성되 어 있다.

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술 연구소

** 울산대학교 기계공학과, 기계기술 연구소

본 논문에서의 코딩시스템은 기존의 분류코드에서 포함하고 있던 가공특성에 해당되는 부분을 제거하고, 실제 수조립 공정에서 발생하는 동작 및 이에 따른 동작시간을 분석하여 조립공정 특성을 추가하였다. 이를 위해 본 논문에서는 첫째로 부품들의 일반적인 형상을 파악하여 형상 특징요소들을 5 가지로 결정하였다. 두 번째로는 일반적인 조립공정과 조립작업장에서의 조립동작을 분석하여 공정순서를 운반, 취급, 접근, 정렬, 체결의 5 가지로 나누었으며, 각 공정에서 영향을 미치는 부품과 사용도구 등을 분석하여 공정 영향요소를 결정하였다. 다음으로는 부품의 특징 요소들이 조립작업에서 미치는 시간적인 영향을 파악하기 위해 동작분석방법의 하나인 MTM/WF (Methods Time Measurement/Work Factor)를 이용하였다. 마지막 단계에는 1, 2 단계에서 결정된 요소들을 이용하여 코드를 결정하였으며, 각 코드값에 따른 조립동작 및 조립시간 등을 결정하였다.

| 명칭 | 판매/개발 기관명 | 코드구조 | 비고 |
|---------------------|---|---|--|
| BRISCH BIRN | Brish Birn & Partners Inc. (영국) | -주코드 (길이:4-6 자리)와 보조코드(길이: 가변적)의 두 부분으로 구성됨 -숫자코드 (numeric code) | -영국인 E.G.Brish 가 개발 -설계의 검색과 다양한 감소에 적합함 -소프트웨어 :TAGS 발표 |
| CODE | Manufacturing Data Systems Inc. (미국) | -8 자리의 혼합형 구조 코드 -영숫자 (1-9, A-F)의 사용 | -Brisch 시스템을 이용 -부품의 특성 (크기, 형상과 기능도 표현됨) |
| MICLASS/ MULTICLASS | Organization for Industrial Research (미국) | -Monocode 와 Polycode 의 혼합형 -코드길이 : 32 자리 -9 개의 상이한 코딩시스템 (기계기공부품, 판금 부품, 전자부품 등) | -미국에서 주로 사용되는 시스템임 -CAD, CAPP 의 데이터베이스 -MICLASS 의 개정판 |
| OPITZ | H. Opitz (독일) | -5 자리의 형상코드와 4 자리의 -보조코드, 합계 9 자리로 구성됨 -숫자(0-9)의 사용 -형상코드 Mixed-mode code -보조코드 : Polycode | -원래는 부품 통계용으로 개발 -유럽, 주로 독일에서 사용 |
| KK-3 | 기계진흥협회 (일본) | -21 자리로 구성 -mixed-mode code | -설계 및 제조경용 시스템 -3 요소법의 사용 |

Fig. 1 Characteristics of coding systems

본 연구에서는 제품의 조립공정에 중점을 두어 부품의 분류체계를 구축하였다. 그리하여 다 품종 소량생산형 제품의 유사 조립공정에 대한 분류로써 애로공정 유발 부품 및 조립시간 단축을 위한 부품들의 특성을 파악할 수 있게 하였다.

2. 부품의 일반형상 특징요소

조립대상이 되는 부품의 일반 형상들을 파악하기 위해 5 개의 파라미터 (표면상태, 대칭성, 단면변화, 방해면의 수)를 계층적으로 나타내어 Fig.2.와 같이 나타내었다. 공모양의 구형은 곡면만으로 이루어진 형상으로 분류되며, 상자모양의 육면체 모양은 평면만으로 이루어진 형상으로 또한 캔모양의 원기둥은 곡면과 평면의 복합으로 이루어진 형상으로 분류하였다.

볼록형상이나 오목형상에 대한 구분은 체결점을 기준으로 하여 체결점이 있는 면과 인접하는 면과의 각도가 90°이상이면 볼록형상으로 그렇지 않으면 오목형상으로 결정하였다 [2].

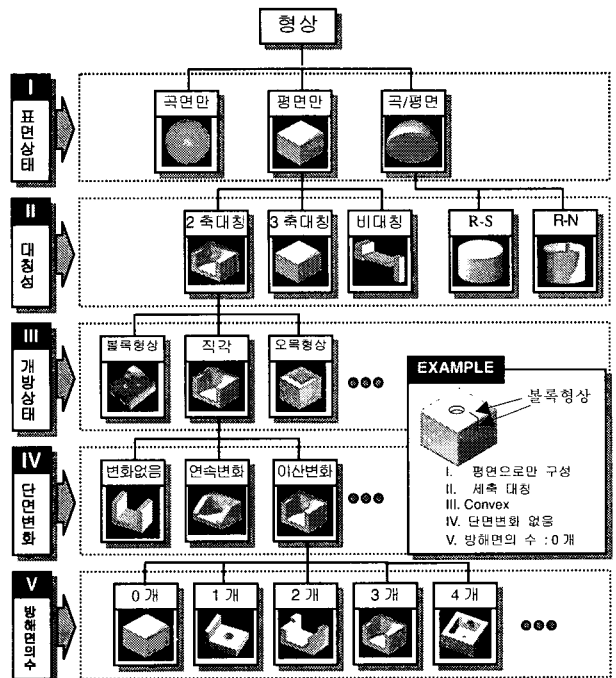


Fig. 2 Parameters of part shape

예를들어, 정육면체와 같은 형상은 Fig. 2에서 나누어진 분류에 따라서 평면-세축대칭-볼록형상-단면변화 없음-방해면의 수 0 개에 해당되는 경우이다. 본 논문에서는 대칭성과 단면변화에 대해서만 나타내었다.

2.1 대칭성

부품의 형상요소 중 하나인 대칭성은 크게 회전체와 비회전체로 나누었다. 회전체는 축을 기준으로 회전하여 생성 가능한 것으로, 회전축에 대해 대칭인 경우와 비대칭인 경우로 Fig. 3 과 같이 나누었다. 비회전체는 회전에 의해 생성할 수 없는 형상으로서, 축을 기준으로 2, 3 축대칭과 축비대칭으로 나누었다. 2축대칭은 부품의 정면을 기준으로 xy, yz, xz 의 두 축에 대해 대칭인 경우이며, 3 축 대칭은 회전체가 아니며, xyz 축 모두에 대해서 대칭인 경우에 해당된다. 예를들면 직육면체 모양이 이에 해당된다고 볼 수 있다. 회전비대칭과 축대칭을 간단히 나타내면, 부품의 형상을 구성하는 세부 형상들에 연장선을 그었을때 가장 크게 나타나는 형상이 회전체이면 회전 비대칭이 되며 그렇지 않은 경우는 축대칭이 된다는 것이다 (Fig. 3 참조). 형상 측면에서의 대칭성은 조립군이나 부품의 외형에 관한 관찰을 고려한 것이므로, 조립공정에서의 취급, 운반 시에 고려되는 대칭성과는 구분하였다.

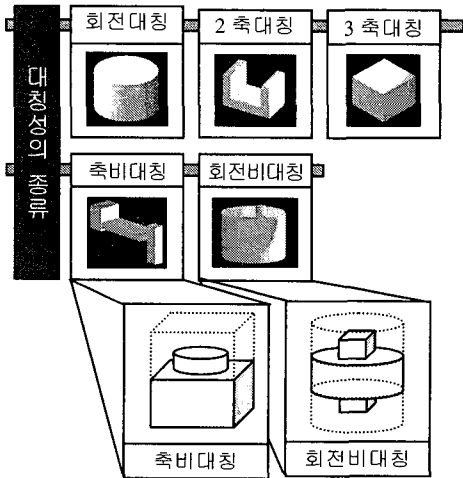


Fig. 3 Classification of symmetry in part shape

2.2 단면변화

단면변화는 임의의 한 면과 이와 인접한 면과의 관계를 나타낸 것으로 Fig.4 와 같이 이산단면변화와 연속단면변화, 이산과 연속변화가 복합된 복합단면변화로 나누었다. 이산단면변화는 단면이 이산적으로 변하는 경우로서 주로 계단형태 또는 표면상에 돌출한 형태가 이에 해당된다. 연속단면변화는 인접하는 면과의 단면관계가 연속적으로 변화는 경우로서 경사면 또는 곡면을 가지는 경우가 이에 해당된다. 단면변화의 수는 부품이 조립되기 위해 정렬되는 방향을 정면으로 가정하여 계산하였다. 이산이나 연속 단면변화에서 변화량이 1cm 미만의 경우나 부품 전체 높이나 폭의 5%이하의 변화는 변화가 없는 것으로 가정하였다

| 이산 단면변화 | 연속 단면변화 | 연속 & 이산변화 |
|------------|------------|--------------|
| 0 개 | 0 개 | 연 1&이 |
| 1 개 | 1 개 | |
| 2 개 | 2 개 | |

Fig. 4 Classification of intersection

3. 조립공정의 분석 및 공정 영향 요소

조립공정은 실제 조립작업을 수행하기 전의 준비과정에 해당되는 보조공정과 실제 조립작업이 일어나는 주공정으로 나누어 분석되었다. 조립대상물을 조립장소로 운반하는 공정과, 체결점 파악이나 체결위치 선정등에 해당되는 취급공정, 부품이나 도구 등이 체결을 위해 체결점으로 접근하는 공정, 부품들의 체결점을 서로 맞추거나 도구를 체결요소에 맞대는 공정인 정렬공정을 보조공정으로 나타내었으며, 조립수행체가 체결요소에 체결

도구를 이용하여 체결력을 전달하는 과정인 체결 공정을 주공정으로 표시하였다.

조립 공정영향요소는 부품이 조립수행체에 의해 운반, 취급, 접근, 정렬, 체결의 조립공정이 수행되면서 조립시간이나 조립 동작 등에 영향을 미치는 요소들로서 Fig.5 와 같이 부품의 무게, 놓임 상태, 접근방향, 접근방향 변경수, 대칭정도, 체결방법, 사용도구 등으로 결정하였다¹³⁾.

운반에 영향을 미치는 요소로서 운반대상의 놓임정도와 취급에 영향을 미치는 요소로서 취급대상의 위험요소, 접근에 영향을 미치는 체결점 접근 방향 및 접근 방향 변경수, 정렬에 영향을 미치는 대칭성 및 체결에 영향을 미치는 체결방법 등으로 결정하였다 (Fig. 5 참조).

접근에 영향을 미치는 요소로서 체결점 접근 방향 변경수는 방향 변경이 없는 0 회에서 3 회까지로 분류하였으며, 또한 접근시 주의가 필요한 경우와 그렇지 않은 경우로 결정하였다.

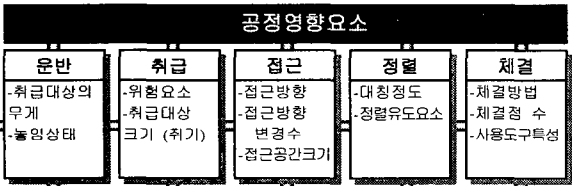


Fig. 5 Assembly function and its process parameters

3.1 놓임상태

부품 또는 조립군이 컨베이어 벨트 등의 운송기구 또는 작업대의 바닥면과 또는 부품이 다른 부품과 접촉하고 있는 상태를 접촉상태로 정의하였다. 접촉상태를 분류하기 위해, 단일 접촉상태와 복합 접촉상태로 크게 분류하였다. 단일 접촉상태는 Fig.6 에서와 같이 부품 또는 조립군의 표면이 바닥면과 맞닿은 부분이 한 부분인 경우를 말하는 것이며, 복합 접촉 상태는 맞닿은 부분이 두 부분 이상인 경우를 나타내는 것이다. 점접촉과 면접촉을 구분하기 위해 점접촉을, 부품의 접촉면적이 부품 전체표면적의 1/6 (정육면체 기준) 이하인 경우의 접촉으로 정의하였다. 선접촉은 회전체의 긴 형상 (원통형, 원추형 등)이 놓여져 있는 경우에 해당되는 것으로 굴러가는 성질 (구름성)을 가지고 있다.

| 접촉상태 | |
|---------|---|
| 종류 | 특징 |
| 단일 접촉상태 | 점접촉 <ul style="list-style-type: none"> 외부의 약한 충격에도 원래의 접촉상태를 유지하기 힘들. 접촉상태 유지를 위해 면접촉 가능한 팔렛, 4 방향에 대한 control 필요(기장나쁜 상태) |
| | 선접촉 <ul style="list-style-type: none"> 충격등으로 인해 움직일 때, 일정방향으로 움직임. 접촉상태를 유지하기 위해, 면접촉이 가능한 팔렛이 필요하다. 2 방향에 대한 control 이 필요. |
| | 면접촉 <ul style="list-style-type: none"> 외부의 충격에 비교적 원래의 접촉을 잘 유지. 접촉상태를 유지하기 위한 특정한 팔렛이 필요하지 않음 |
| 복합 접촉상태 | 선접촉 <ul style="list-style-type: none"> 선접촉과 유사한 성질을 가짐 (2점 접촉) |
| | 면접촉 <ul style="list-style-type: none"> 각정을 있는 선으로 이루어진 면에 대한 면접촉과 유사한 성질을 가짐. (3점 접촉) |
| | 점+선 <ul style="list-style-type: none"> 면접촉과 유사한 성질을 가짐 |
| | 선+선 <ul style="list-style-type: none"> 면접촉과 유사한 성질을 가짐 |

Fig. 6 Classification of contact conditions

복합 접촉상태는 단일 접촉상태에서 분류되어진 점, 선, 면 접촉의 조합으로 나타나는 경우로서, 예를 들어 점+점의 접촉에서 2점 접촉은 두 점을 있는 선접촉과 동일하며, 3 점 이상의 접촉은 3 점을 이어서 생기는 면에 대한 접촉이다.

3.2 접근방향 변경 수

접근방향 변경 수는 부품 또는 조립군들이 체결점을 맞대기 위해 체결점으로 접근할 때에 접근방향이 바뀐 횟수를 말한다.

본 논문에서는 Fig. 7 에서와 같이 접근방향 변경 수를 변경이 없이 바로 접근이 가능한 경우와 1 회, 2 회 및 3 회 바뀌는 경우로 분류하였으며, 그 이상의 변경에 대해서는 접근이 불가능한 것으로 가정하였다. 해당형상의 접근 변경수는 여러 접근 경로 중에서 접근방향의 변경 횟수가 가장 적게 되는 경로의 변경수가 해당된다.

대각선 방향으로의 접근은 서로 다른 두 개의 수직 방향의 합으로 간주하여 1 회의 변경이 있는 것으로 하였다.

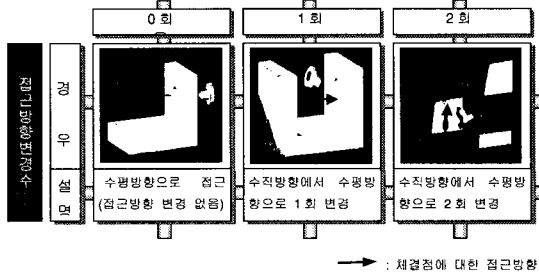


Fig. 7 Number of direction changes

3.3 대칭성

보조공정에 속하는 공정영향요소 중 하나인 대칭성은 부품이나 조립군이 운반되어와서 정렬될 때, 방향정렬이 필요한 횟수 등에 영향을 미치는 요소로서, 본 연구에서는 Boothroyd 에 의해 제시된 α, β -대칭을 이용하여 분류하였다¹⁴⁾. α -대칭은 삽입축에 직각을 이루는 방향으로 회전하여 삽입 위치까지 회전한 각이며, β -대칭은 삽입축을 회전축으로 하여 삽입위치까지 회전한 각이다. 예를 들어, 원기둥을 원형의 구멍에 삽입한다고 할 때, 삽입축에 직각방향으로는 180도 회전하면 본래의 모양대로 삽입이 가능하며, 삽입축에 대해서는 각도의 변화없이 삽입이 가능하게 된다. 전자의 경우가 $\alpha=180$ 이며, 후자가 $\beta=0$ 에 해당된다. 부품의 대칭성에 대한 분류는 Fig. 8 과 같다.

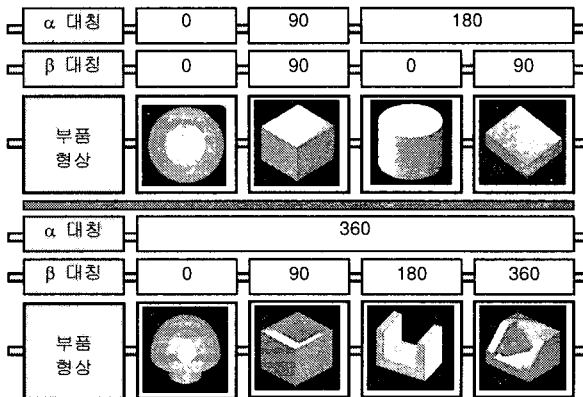


Fig. 8 Symmetry in process parameters

3.4 체결방법 종류

본 연구에서는 가전제품 (전기밥솥, 텔레비전, 냉장고 등) 이나 일반 사무용품 (필기구, CD-케이스, 스테이플러 등)에 많이 사용된 체결방법인 나

사체결, 본드작업, 끼워맞춤, 스냅작업에 대해서만 고려하였다. 나사체결은 볼펜의 머리를 몸통과 결합하는 경우와 같이 볼트라는 체결요소를 사용하지 않더라도 나사산을 이용한 체결은 이에 포함되는 것으로 가정하였다. 부품들에 대한 체결이 수작업으로 이루어지는 것으로 가정하여 각각의 체결방법에 대한 특징을 Fig. 9 와 같이 파악하였다.

4. 조립시간 추정을 위한 동작요소와 조립공정 영향요소와의 관계

3절에서 결정된 조립공정 영향 요소들이 조립시간에 미치는 영향을 파악하기 위해 동작 분석 기법의 하나인 MTM 과 WF 를 이용하였다¹⁵⁾.

4.1 표준동작요소

WF(Work Factor)에서는 인간이 작업 시간을 통제하는 작업의 경우 Fig. 10 과 같이 동작신체부위, 동작거리, 중량 및 저항, 인위적 조절의 4 가지 요인에 의하여 동작 시간이 좌우된다.

동작신체부위는 신체부위 중 어디를 이용하여 동작을 행하는가에 따라 동작시간이 달라진다는 개념을 바탕으로 하여 신체 부위를 손, 팔, 앞팔회전, 몸통, 발, 다리, 머리돌림의 7 가지로 분류하였다.

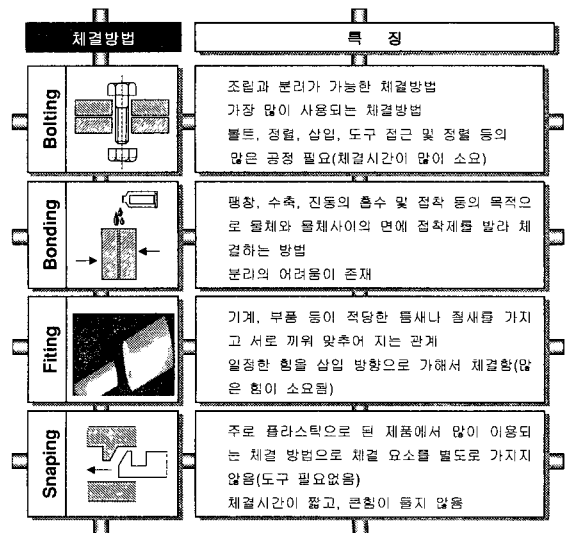


Fig. 9 Classification of joining methods

동작거리는 동작에 의해 이동되어진 거리로서 거리의 측정은 동작이 시작하는 점과 끝나는 점 사이의 직선거리를 반올림하여 '인치'로 표시한다. 중량 및 저항은 앞팔의 회전 동작은 토크(인치, 파운드)로 측정하고, 그 외의 동작의 경우는 모두 파운드로 측정한다. 측정된 중량 또는 저항은 Work Factor 의 수에 의하여 표시된다.

인위적 조절이 필요한 상황은 방향조절, 주의, 방향의 변경, 일정한 정지의 4 가지 경우로 정해지며 동작 도중에 인위적 조절이 필요할 때는 4 가지 중 어느 경우인지 밝혀 각 경우마다 WF를 동작에 표시해 준다. 방향조절(Steering : S)은 좁은 간격을 통과하거나, 작은 목표물로 동작을 유도할 때의 상황이며 주의(Precaution ; P)는 물건의 손상 내지는 작업자의 상해방지 또는 동작의 목적상 신체 조절이 요구되는 상황이다. 또한 방향의 변경(Change of Direction ; U)은 장애물 등으로 동작 경로가 급격한 커브 형태로 될 때의 상황이며 일정한 정지(Definite Stop ; D)는 작업자가 의도적으로 운동을 정지시키는 상황으로서 구조적인 장애물에 의하여 정지가 될 때는 해당하지 않는다. 이러한 인위적인 조절은 체결요소가 체결점에 접근할 때나 부품들의 체결점을 서로 맞추는 경우, 접근시에 방향의 변경이 일어나는 경우에 고려되었다.

- **동작 신체 부위** : 동작을 행하는 신체 부위 (손, 팔, 어깨, 다리..)
- **동작 거리** : 동작의 시점과 종점의 직선거리를 inch 로 표시
- **중량이나 저항** : 대부분 pound 로 측정할 후 이를 WF/MTM 으로 변환
- **인위적 조절** : 4 가지 경우로 발생하며 Work-Factor 로 발생유무 표시

- ✓ **방향 조절 (Steering ; S)** : 좁은 간격을 통과하거나, 작은 목표물로 동작을 유도할 때의 상황
- ✓ **주의 (Precaution ; P)** : 물건의 손상 내지는 작업자의 상해방지 또는 동작의 목적상 신체 조절이 요구되는 상황
- ✓ **방향의 변경 (Change of Direction ; U)** : 장애물 등으로 동작 경로가 급격한 커브 형태로 될 때의 상황
- ✓ **일정한 정지 (Definite Stop ; D)** : 작업자가 의도적으로 운동을 정지시키는 상황으로서 구조적인 장애물에 의하여 정지가 될 때는 해당되지 않음

Fig. 10 Time variables of WF/MTM [15]

작업동작을 나타내는 WF 나 MTM 표준요소는 부품을 운반하는 이동(Transport), 물건을 이동, 취급하기 위한 쥐기(Grasp), 부품을 특정위치로 정렬하기 위한 동작인 미리놓기(Pre-position) 등이 있으며 관찰, 평가 및 의사결정을 하기 위한 정신과정(Mental process)으로 분류되었다. 본 논문에서는 부품의 외형을 파악하는데 필요한 동작인 정신과정과 부품이나 체결요소의 취급시에 자주 발생하는 미리놓기에 대해서만 간단히 나타내었다.

4.2 미리 놓기(Pre-position)

미리 놓기는 후속되는 표준요소 (특히 Assemble)를 잘 수행하기 위해 지니고 있는 물체의 방향을 똑바른 위치로 바꾸거나 돌리는 동작으로 시간 변동요인으로는 부품의 상태 (Number of Points Satisfactory for use)이다. 본 논문에서는 공정 영향요소 중 대칭성과 관련이 있는 것으로 결정하여 Fig. 11 과 같이 나타내었다.

| Number Of Points Satisfactory for use | Type of Pre-position | | | | |
|--|----------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | Optimum S<3/8 | Very Small S<3/8 | Medium One Hand (Over 2.2-1/2) | Medium Two Hand (Over 3.3-1/2) | Large Two Hand (Over 8-8) |
| Two or more sides up: Four, three, or two Opposite Points (A) Two Adjacent Points(B) One Point Only(C) | - 12 24 | - 20 40 | - 16 32 | - 18 35 | - 25 50 |
| One specific side up: Four, three, or two Opposite Points Two Adjacent Points One Point Only | 24 30 36 48 | 40 50 60 80 | 32 40 48 64 | 35 44 53 70 | 50 63 75 100 |

| 경우 | 설명 | 예 |
|-------------------------|----|---|
| Four, three, or two (A) | | |
| Opposite Points (B) | | |
| Two Adjacent Points (C) | | |
| One Point Only (D) | | |

Fig. 11 Time Table of pre-position and related symmetry [15, 6]

미리놓기의 예를 들면 볼트를 구멍에 조립하기 위해서 방향을 고쳐 잡는다든가, 재료를 프레스형에 넣기 위해서 뒤집거나 돌리는 동작이라고 할 수 있다. Fig.11 에서의 특정면이 A 의 경우가 부품 대칭성의 $\alpha=360^\circ, \beta=0^\circ$ 에 해당되며, B 경우는 $\alpha=360^\circ, \beta=180^\circ$, C 경우는 $\alpha=360^\circ, \beta=90^\circ$, D 경우는 $\alpha=360^\circ, \beta=360^\circ$ 인 경우가 되므로, 이에 해당하는 시간을 이용하였다.

4.3 정신과정(Mental Process)

읽는다, 검사한다, 쓴다, 측정한다, 계산한다 등을 하기 위해 두뇌와 신경을 쓰는 경우이다. 정신과정은 동시정신과정과 연쇄정신과정의 두가지로 구분된다. 전자는 이동동작(Move)을 할 때와 같이 신경조절기능과 근육운동이 동시에 발생되어 정신과정을 위해 따로 시간치를 고려해 줄 필요가 없는 경우이며, 후자는 신체동작과 연결되어 발생하는 정신과정으로서 시간치를 별도로 계산해 주어야 한다. 본 논문에서는 후자에 해당하는 경우만 고려하여 연쇄정신과정을 눈 동작, 검사, 반응의 3 가지로 나누었다.

검사과정은 보는 과정, 전달과정, 구별과정, 결정과정을 포함하며 품질검사(IQ;목적물의 유무, 성질), 수량검사(IN;수 또는 양), 동일성검사(II;글자, 한자, 기호)의 3 가지로 분류된다. 검사과정시간은 검사대상의 크기, 검사대상과 주위의 명암 및 조명의 광도에 따라 결정된다. Fig. 12 는 검사 동작 중에서 신호의 수에 따른 시간값을 나타낸 것이다.

| 상 태 | Signal 개수 | | | | |
|-------------|-----------|----|----|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | 시간치 (TMU) | | | | |
| 무작위신호 | 54 | 65 | 76 | 89 | 103 |
| 구별적인 다수의 신호 | 49 | 54 | 60 | 66 | 73 |

1TMU=0.036 초

Fig. 12 Time table of Inspection [5]

5. 형상 및 조립공정 측면의 특징요소와 표준동작요소와의 관계

부품의 외형파악에 영향을 미치는 형상측면 특징요소와 작업자가 조립작업 수행 시에 영향을 미치는 공정측면 특징요소를 4 장에서 파악된 표준동작요소와 관계를 Fig. 13 과 같이 결정하였다. 형상측면에서의 표준동작요소는 대부분 형상의 외형 특징을 파악하는 동작인 검사와 확인동작, 눈이나 머리의 동작이 대부분인 것으로 나타났으며, 공정측면에서는 부품을 운반, 이동, 방향정렬 시키는 이동동작(Move), 미리놓기동작(Pre-position)과 정렬동작(Index) 등의 동작과 접근 시에 필요한 동작인 일정 멈춤동작(Definite Stop)과 방향변경 동작(Change of direction), 체결동작에 필요한 여러 동작으로 나타났다.

체결방법에 따른 시간값을 결정하기 위해 각 체결방법에 따른 동작을 MTM 과 WF 에서 분류된 세부동작으로 분류하였으며, 이에 따라 각 체결방법의 시간값을 결정하였다.

| | 영향요소 | 표준동작요소 |
|----------------------|---------|--|
| 형상 측면 특징 요소 | 표면상태 | Inspect (구분, 선별반응) |
| | 대칭성 | Inspect (구분, 선별반응) |
| | 개방상태 | ES(논돌리기)/HT (머리회전) |
| | 단면변화 | Inspect (구분, 선별반응) |
| | 방해면의 수 | ES/HT, Inspect Quantity |
| 공정 측면 특징 요소 | 무게 | Move |
| | 놓임상태 | Reach |
| | 대칭성 | Pre-position, Index |
| | 접근방향변경수 | Definite stop, Change of direction |
| | 접근방향 | Assemble (Blind) |
| | 정렬유도요소 | Surface Assemble |
| | 체결방법 | Index, Insertion, Turn, Move, Apply pressure, 기타동작 |

Fig. 13 Assembly parameters and related motion Factors

5.1 형상측면에서의 특징요소와 관련 표준 동작요소

형상측면요소와 표준동작요소와의 관계를 결정하여 Fig. 14 와 같은 시간값을 구하였다. 형상측면요소들 중 대칭성과 개방상태, 방해면의 수가 최악의 상태인 경우 높은 시간값을 가지는 것으로 나타났으며 표면상태나 단면 변화는 상대적으로 낮은 시간값으로 나타났다. 이를 통해 부품의 외형적인 특징을 쉽게 파악하기 위해서는 부품의 대칭성과 개방상태 방해면의 수를 우선적으로 고려해야 함을 알 수 있다. 대칭성과 관련있는 동작요소는 구분, 선별반응(inspect identity)으로 결정하였다. 왜냐하면, 조립군이나 부품의 대칭성에 따라 조립군이나 부품의 외형적인 형상 파악을 위한 필요 시각 개수가 달라지므로 외부의 신호를 파악하는 동작인 구분(react), 선별반응 동작이 관계가 있는 것으로 결정하여 Fig. 14 와 같이 나타내었다.

예를 들어, 회전대칭인 경우는 정면 시각만으로 전체형상을 파악할 수 있으므로 필요한 신호

수가 1 개인 경우와 관계가 있으며, 축비대칭은 6 방향에 대해서 관측이 필요하므로 6 개의 신호가 필요한 것으로 결정하였다. 그러므로 회전대칭은 형상인식에 소요되는 시간이 '0' WFU 이며, 회전비대칭은 3 개의 신호를 인식하는 30WFU 의 시간이 필요한 것으로 나타났다 (Fig. 14 참조). 이렇게 계산된 시간값은 코드 자리수를 결정하는 기준으로 이용된다.

5.2 공정측면에서의 특징요소와 관련 표준 동작요소

공정을 운반, 취급, 접근, 정렬, 체결의 순서로 나누어 이에 따른 동작들을 분석하여 Fig. 15 와 같은 시간값을 결정하였다. 즉, 무게나 놓임상태는 부품의 운반시에 미치는 영향을 고려하였으며, 위험요소나 대칭성은 부품이 다음 공정인 접근을 쉽게하기 위해 운반 중인 부품을 원하는 방향으로 고쳐잡을 수 있는 정도에 따라 Fig.15 와 같이 나타내었다. 특히, 공정적 측면에서의

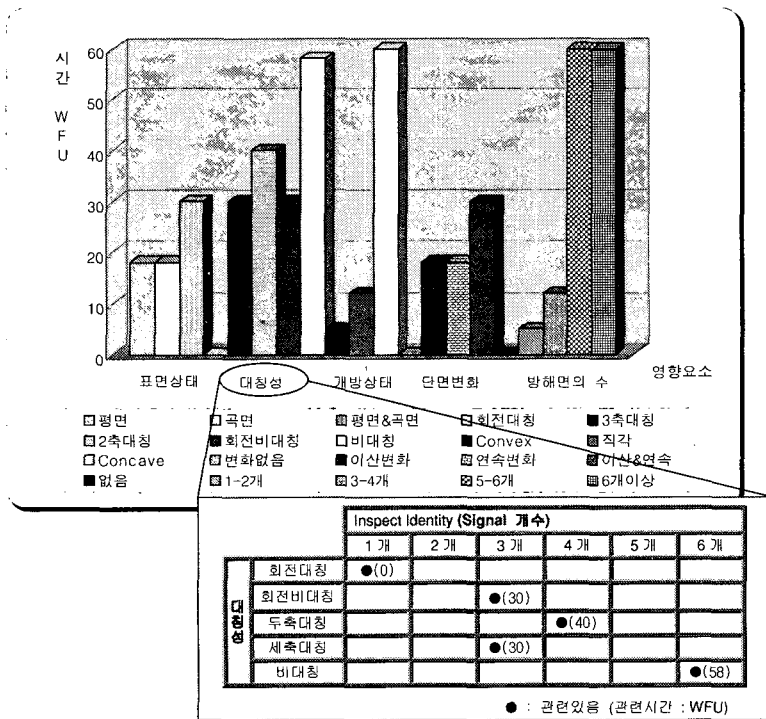


Fig. 14 Time values for the parameters of part shape

대칭성은 취급되어지는 부품이 체결점을 서로 맞대기 위해 방향정렬을 하는 동작요소와 관련이 있기 때문에, MTM의 동작요소인 미리놓기동작(Pre-Position) 과 WF의 정렬동작(Index)을 관련 동작요소로 결정하였다. 그리하여 방향정렬을 위한 대칭성이 $\alpha=0^\circ$ 이고 $\beta=0^\circ$ 인 경우는 미리놓기동작이나 정렬동작이 필요 없으므로 소요되는 시간값이 '0'WFU로 계산되었으며, 대칭성이 $\alpha=360^\circ$ $\beta=360^\circ$ 인 경우는 미리놓기동작에 필요한 시간값 64WFU와 정렬동작에 필요한 시간값 23WFU를 합한 87WFU로 계산되었다. 이렇게 결정된 시간값은 조립공정측면에서의 코드자리값 결정에 이용된다.

윗 방향에 대한 특정한 정렬방향을 가지고 4개의 측면에 대해서는 특정한 정렬 방향이 없는 경우는 본 연구에서 분류한 α -대칭이 360° 이고 β -대칭이 0° 인 것에 해당하게 된다. 이와 같은 방법으로 다른 경우들에 대해서도 α/β 대칭의 관

계를 Fig. 15와 같이 결정하였다. 접근과 관련된 영향요소로는 부품이 체결점이나 특정위치로 이동하기 위해 접근하는 방향과 접근 방향이 몇 번 변경되었는가를 고려하였다. 부품이나 조립군이 체결점으로 접근할 때 방향이 변경되게 되면 일정한 정지동작과 주의, 방향조절 등의 동작이 필요하게 되므로, 본 연구에서는 1회의 방향변경이 생길 때마다 방향조절, 방향의 변경이 발생하는 것으로 가정하여 Fig. 15와 같이 나타내었다. 즉, 1회의 방향변경이 생길 때 마다 2가지 요인이 발생되는 것으로 고려하여, 만약 3회의 방향변경이 생기면 3배의 시간이 소요되는 것으로 계산하였다. 정렬과 체결공정 또한 Fig. 15와 같이 각각 정렬 유도 요소의 개수와 체결방법을 관련된 영향요소로 결정하였다.

접근방향 변경수와 체결방법이 최악의 상태인 경우에 비교적 높은 시간값을 가지는 것으로

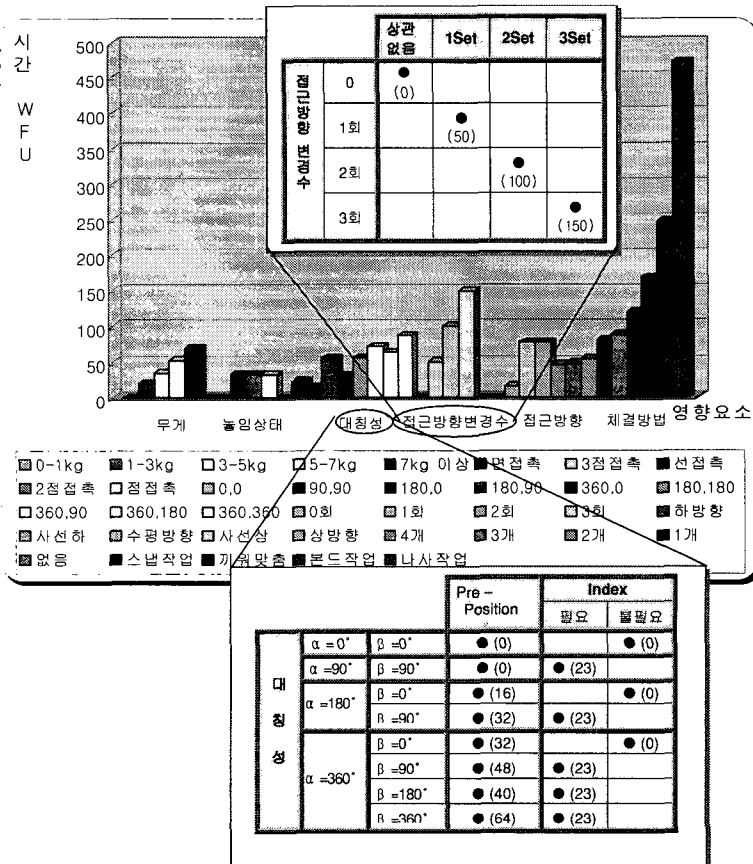


Fig. 15 Time values of assembly process parameters

나타났으며 나머지 요소들은 비슷한 시간값으로 결정되었다. 공정측면 요소에 대한 시간변동표를 통해 공정한 측면에서는 제품설계 시에 체결방법과 접근방향 변경수를 우선적으로 고려해야 하는 것으로 나타났다.

6. 코딩 시스템 구조 및 코드 자리수 결정

형상측면 및 공정측면의 코드값 결정을 위해 영향요소에 따른 시간값들을 Fig.16 과 같이 계산하였다. Fig.16 에서 나타난 시간값들은 MTM 과 WF 에서 제시된 시간값들 중에서 작업자의 숙련도나 작업조건(이동거리나 작업대의 높이, 주변의 밝기나 소음정도 등)이 모두 특별한 작업조건이 아닌 일반적인 경우로 설정하고 영향요소만의 변경에 따른 시간 변동량으로 결정된 것이다. 그렇기 때문에 특수한 작업환경이나 체결되는 부품이나 조립군의 특징이 특별한 경우에 대해서는 5 장에서 계산된 시간값과 차이가 날 수 있을 것이다.

본 연구에서는 코드 자리수 결정을 위해 전체 코드를 형상측면과 조립공정 측면으로 크게 나누었으며, 조립공정 또한 운반, 취급, 접근, 정렬 및 체결의 5 개 공정으로 분류하였다. 예를 들어, 일곱번째 자리인 놓임상태에 대한 세부 코드값은 접촉상태가 면접촉이거나 무게 중심이 치우쳐있거나 또는 무게가 무거움으로 인한 안정적인 경우와 접촉상태가 선 또는 점, 무게중심이 가운데 있거나 무게가 너무 가벼워서 불안정적인 경우를 고려하여 결정하였다.

1-5 자리까지는 형상측면의 코드로서 부품의 일반 형상 특징요소에서 결정된 표면상태, 대칭성, 개방상태, 단면변화, 방해면의 수로 결정하였다. 6-12 까지는 조립공정 측면의 코드로서 조립공정 분석을 통한 공정영향요소들에 대해 표시하였다 (Fig. 15 참조). 특히 조립 공정영향요소와 조립시간 추정을 통한 조립공작과의 관계에 따른 결과를 이용하여 조립시간이 가장 짧은 경우나 조립동작이 간단한 경우에 '0'의 코드값을 가지도록 하였으며, 조립시간이 많이 걸리거나 조립동작이 복잡할수록 높은 코드값을 가지도록 하였다. 이렇게 하여 조립공정측면의 코드값만으로도 조립작업시 에로 공정 유발 부품을 파악할 수 있도록 하였다.

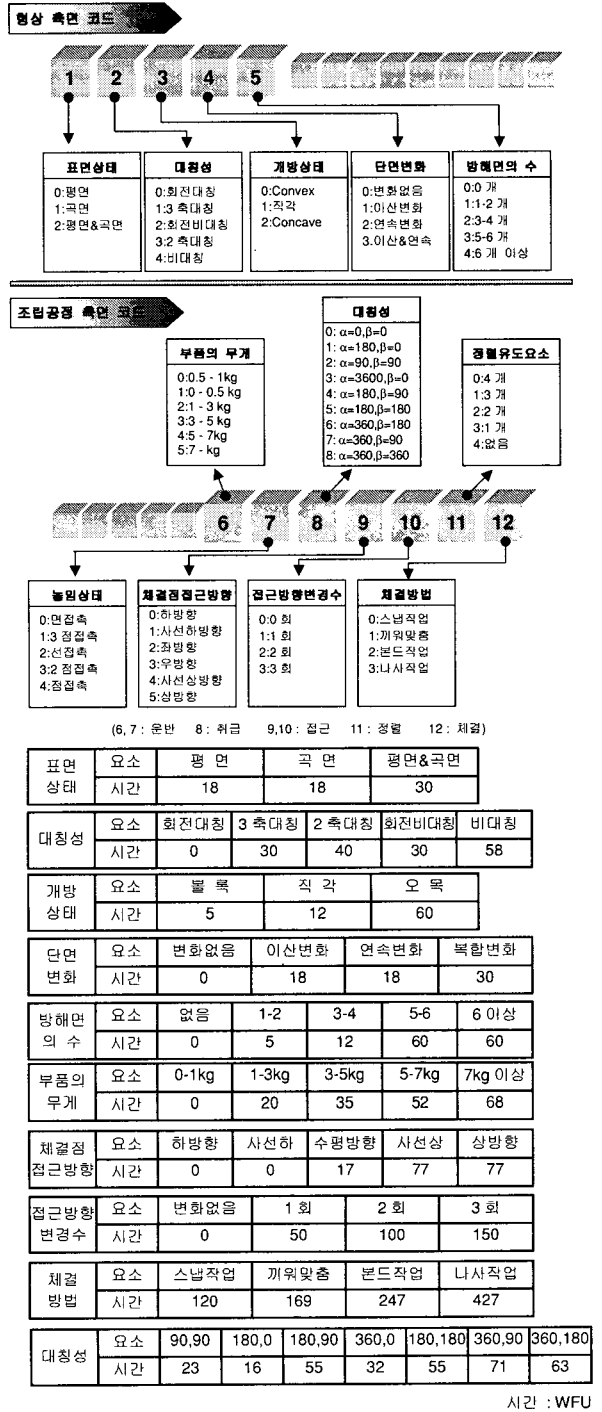
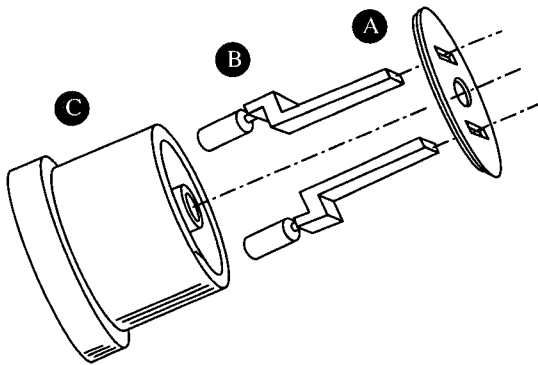


Fig. 16 Code structure and time value for part shape and assembly process

7. 사례연구

본 논문에서는 전원 plug 에 대해서 사례연구를 Fig. 17 과 같이 실시하였다. 사례연구에서의 조립시간을 추정하기 위해서는 A,B,C 부품이 각각 놓여져 있는 위치, 조립을 위해 이동되는 거리, 부품의 무게, 작업자의 작업환경 및 사용도구 등이 필요하기 때문에 사례에 대한 정확한 조립시간은 추정할 수는 없으나, 각 부품들의 코드값에 따른 시간값은 5 장에서 계산되었으므로 이 시간값을 이용하면 각 부품들에 대한 상대적인 조립시간의 크기를 판단할 수 있다.

부품 A 는 전원 plug 의 뒷개에 해당되는 부분으로 대칭성에 있어서 $\alpha=360^\circ \beta=180^\circ$ (8 번째 코드)이므로 삽입방향에 대한 정렬작업이 필요한 것으로 나타났으며, 체결방법 (12 번째 코드)에서 또한 나사체결로 인해 취약점이 존재하는 것으로



| | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 코드값 | 2 | 2 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 부품 A 의 취약점 | <ul style="list-style-type: none"> •대칭성에 있어서 삽입방향 정렬이 필요 •체결방법에서 끼워맞춤과 나사작업을 동시에 가짐(코드에는 가장 취약부분이 표시) | | | | | | | | | | | |
| 코드값 | 2 | 4 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 8 | 2 | 0 | 1 | 1 |
| 부품 B 의 취약점 | <ul style="list-style-type: none"> •형상측면에서의 비대칭형으로 인한 형상인식에 있어서의 취약점발생 •대칭성에 있어서 특정방향으로만 정렬이 요구 | | | | | | | | | | | |
| 코드값 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 부품 C 의 취약점 | <ul style="list-style-type: none"> •대칭성에 있어서 접근방향으로 정렬이 필요 •체결방법에 있어서 가장 취약한 경우인 니사 작업필요 | | | | | | | | | | | |

Fig. 17 Case study (Electrical Plug)

나타났다. 부품 B 나 C 도 거의 비슷한 형태로 표시되었지만 부품 B 는 부품 A 에 체결하는 방법이 끼워넣기인 관계로 체결공정에서 취약점이 나타나지 않았다는 것을 알 수 있었다 (취약코드는 검정색으로 표시).

본 사례 대상의 가장 취약한 부분은 시간변동표에서 가장 높은 값을 가지는 체결방법인 나사체결인 것으로 나타났다 (Fig. 17 참조). 따라서 체결방법을 나사체결이 아닌 스냅이나 끼워맞춤이 가능하도록 설계한다면 조립시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

8. 결론

조립대상이 되는 부품의 일반적인 형상을 파악하기 위해 5 개의 파라미터 (표면상태, 대칭, 개방상태, 단면변화, 방해면의 수 등)를 계층적으로 나타내었다. 조립공정을 운반, 취급, 접근, 정렬 및 체결의 5 단계로 분류하여 각 공정에서의 필요동작 및 각각의 공정에 관련된 공정영향요소들을 결정하였다. 이를 근거로 조립공정을 고려한 12 자리의 코드를 가지는 코딩시스템을 구축하였으며, PTS(Predetermined Time Standard) 기법의 하나인 MTM 과 WF 을 이용하여 공정영향 요소들에 따른 대략적인 조립시간을 추정하였다.

특히 공정 영향요소들에 따른 동작시간관계의 결과를 이용하여 동작이나 시간이 많이 소요될수록 큰 코드값을 가지도록 정하였으므로 코드값만으로 조립공정의 난이정도를 빠르게 파악할 수 있으며 조립 공정영향요소에 따른 조립시간 추정방법을 이용한 코딩시스템을 이용함으로써 코드 자리만으로 조립시 애로 유발 부품이나 조립시간 단축요인을 파악할 수 있도록 하였다.

본 논문에서 제시한 코딩시스템이 자동조립공정에 적용된다면, 각 부품이 코드에 의해 운반, 취급, 접근, 정렬 등의 공정별로 자동 분류가 가능하며 코드값에 따라 필요한 후속공정, 즉 운반, 취급 코드 후에 정렬, 체결 코드의 파악으로 가능하다. 그리고 형상측면 코드 자리가 더 보강이 된다면 각 공정시에 필요한 부품의 특징, 즉 체결점수, 로봇에 의한 부품의 잡힘위치, 부품의 접근방향 등을 파악할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 감인영, "Group Technology 의 개념 및 응용," 전 각서, pp. 8-10, 1990.
2. Rembold, U., and Storr, A., "Computer Integrated Manufacturing & Engineering," Addison-Wesley, pp. 383-386, 1993.
3. Hsu, W., Lee, C.S.G. and Su, S.F., "Feedback approach to design for assembly by evaluation of assembly plan, Computer Aided Design," Vol. 25, No. 7, pp. 395-410, 1993.
4. G. Boothroyd and P. Dewhurst, "Product Design for Assembly : Manual Assembly, Machine Design," Vol. 10, pp. 94-98, 1993.
5. 황학, "작업관리론," pp. 403-472, 1993.
6. 목학수, 문광섭, 김형주, "볼트를 사용한 제품에 서의 조립용이성과 조립비용의 상관관계 평가 시스템," 한국 정밀공학회지, 제 15 권 제 5 호, pp. 72-84, 1998.