

취급성과 접근성을 고려한 제품의 복잡도 평가

목 학 수*, 신 현 창*

Evaluation of the Complexity of the Product According to Access and Handling

Hak-Soo Mok*, Hyun-Chang Shin*

ABSTRACT

In this paper, the complexity of the product is evaluated quantitatively regarding to access of assembly tools and handling of part. To evaluate the complexity of the product, we grasped factors that could influence on the complexity of the product with access and handling, and then we determined the criteria of comparison for each complexity factor. The criteria compare the complexities of product alternatives on each access and handling.

Key Words: Complexity(복잡도), Product(제품), Handling(취급), Access(접근)

1. 서론

오늘날에 생산되는 제품들은 세계 각국의 기술 및 환경 규제 강화에 따라 제품의 경쟁력 향상을 위하여 생산, 유지 보수, 폐기/자원 재활용 등을 복합적으로 고려되어야 한다. 또한 이미 환경문제의 대두로 제품의 분리에 관한 연구 결과들이 발표되어 지고 있다⁽¹⁾. 그래서 이를 위해서는 제품의 구조를 조립, 수리 및 분리를 보다 쉽게 수행할 수 있게 만드는 것이 필요하게 된다.

제품의 조립이나 분리를 쉽게 하기 위해서는 조립 및 분리 공정과 작업 수행체, 도구, 사용 소재, 작업장소 등의 많은 요소들이 고려되어야 한다. 이들 요소들 중에서 제품의 복잡도가 영향을 미치는 것은 조립공정 전의

준비 작업과 조립의 주공정이다. 생산 공정 중에서 부품의 취급성은 조립 및 분리에 많은 영향을 주며, 부품의 접근성은 체결과 분리에 많은 영향을 주게 된다. 그래서 본 논문은 제품의 취급성과 도구의 접근성을 바탕으로 제품의 복잡도를 평가하고자 한다. 제품의 복잡도를 절대적인 평가기준으로 평가하는 것이 아니라 하나의 기준 제품과 다른 제품을 비교하여 상대적으로 평가 할 것이다. 왜냐하면 제품의 복잡도를 절대적인 평가기준으로 평가할 때는 복잡도 값이 항상 정해져 있기 때문에 손쉽게 제품의 복잡도를 비교할 수 있지만, 평가 상황이 달라지거나 새로운 기준의 등장 또는 환경의 변화로 복잡도의 값은 고정되지 못하고 변화하는 경우가 많게 되기 때문이다. 그리고 제품의 종류와 형상, 크기, 존재하는 상태 등의 여러

변수들로 인해 절대적인 기준을 정한다는 것은 어려운 일이다. 그래서 제품을 다루는 환경과 제품 생산에 필요한 작업 수행체를 고려하여 공정요소에 미치는 제품의 복잡도를 상대적으로 평가 및 비교하고자 한다. 상대적인 복잡도의 평가와 비교는 비교 제품이나 공정의 환경에 따라서 변화하며, 상황의 변화에 따라 복잡도 계산을 다시 해 줄 필요가 생기게 된다. 이를 위해 제품의 복잡도 계산을 단순하게 하면서 상호 복잡도를 비교할 수 있도록 비교기준의 설정이 중요하게 된다. 본 논문은 제품의 복잡도 비교를 위해 Fig. 1과 같이, 제품을 구성하거나 치품 상태를 나타내는 요소들 가운데 취급성과 접근성에 영향을 미치는 요소들을 파악한다. 그 중 취급성과 접근성에 미치는 영향력이 큰 것들을 선택하여 복잡도에 영향을 미치는 제품의 특성요소로 결정한다. 결정된 제품의 특성요소들은 취급성에만 영향을 미치는 것과 접근성에만 영향을 미치는 것과 두 가지에 공통적으로 영향을 미치는 것으로 나눌 수 있다. 그리고 결정된 제품 특성요소들을 통하여 제품의 복잡도를 비교하기 위해 각각의 비교기준을 결정한다. 결정된 비교 기준들을 이용하여 2개 이상의 제품을 취급성 측면과 접근성 측면으로 각각의 복잡도를 비교하고, 취급성과 접근성을 동시에 고려하여 제품들의 상대적인 복잡도를 비교한다.

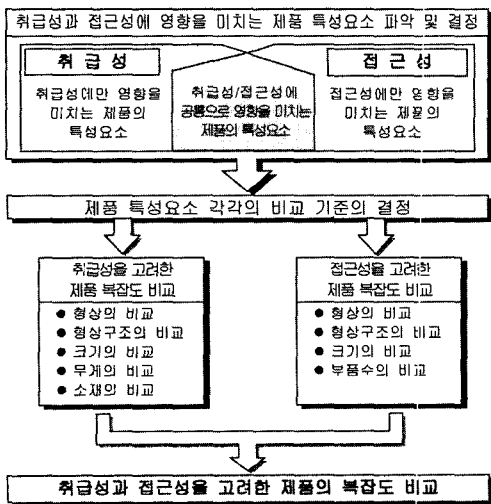


Fig. 1 취급성과 접근성을 고려한 제품의 복잡도 비교순서

2. 조립 공정 요소 및 제품의 특성요소의 분석

제품의 복잡도 분석을 위하여, Fig. 2와 같이 분석대상

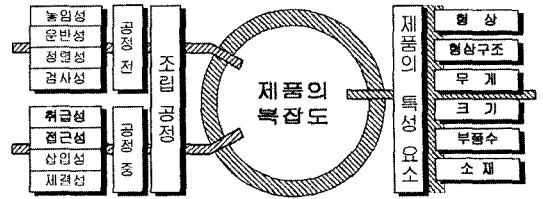


Fig. 2 취급 및 접근용이성을 고려한 복잡도 분석

을 조립 공정과 제품의 특성요소로 나눌 수 있다. 조립 공정은 수행 시점을 기준으로 공정 전과 공정 중으로 나누었다. 조립 공정 전에는 부품의 놓임, 운반, 정렬, 검사 용이성에 대한 분석이 있어야 하며, 조립 공정 중에는 부품의 취급, 접근, 삽입, 체결용이성으로 나누어 분류되어야 한다⁽¹⁾. 본 연구에서는 이들 중에서 조립 공정 중 구성요소인 취급성과 접근성을 중심으로 제품의 복잡도에 대하여 분석하고자 한다. 이에 덧붙여 제품의 복잡도를 분석하기 위해 제품의 특성 요소인 형상, 형상구조, 무게, 크기, 부품 수, 소재의 특성이 함께 고려되어야 한다.

2.1 조립 공정 요소

조립 공정의 구성요소들 중에서 제품의 복잡도에 의해 영향을 받는 취급성은 부품들 간의 조립 및 분리 그리고 부품의 이동 등의 목적을 달성하기 위하여 취급 수행체를 사용하는 경우에 조립이나 분리공정 중에 제품의 취급이 어느 정도로 쉽고 어려운가를 나타내는 성질이다. 여기서 취급 수행체라고 하는 것은 제품을 다루는 사람, 기계, 운반체 등을 통칭하는 것이다. 제품의 취급에는 작업자 및 기계에 의한 취급, 제품을 수리하기 위한 취급, 제품의 분리를 위한 취급 등이 있다. 이러한 제품들의 취급은 공통적으로 제품의 특성 요소인 형상, 형상 구조, 무게, 크기, 부품 수 등에 의해서 영향을 받게 된다. 취급성을 고려한 제품의 복잡도는 취급 수행체에 의해 취급의 어려운 정도를 말한다. 즉, 취급에 영향을 미치는 요소들에 의해 제품의 취급이 어려워지면 취급성 측면의 제품 복잡도가 증가하게 되고, 반대로 취급이 쉬워지면 감소하게 되는 것이다.

Fig. 2의 접근성은 제품의 조립, 분리, 수리 공정 등이 수행되는 위치로 접근 수행체에 의하여 Tool 등을 접근시키는 것으로 접근의 쉬운 정도를 나타내어 주는 성질이다. 여기서 접근 수행체는 체결 및 분리의 목적과 이를 지원하기 위해 제품에 접근하는 도구 등을 통칭하는 것이다. 접근성을 고려한 제품의 복잡도는 방해 요소들에 의

래 접근체의 접근이 얼마나 어려운가를 나타낸다. 즉, 방해 요소가 많으면 접근성을 고려한 제품 복잡도가 높아지고, 그 반대인 경우에는 제품의 복잡도가 낮아진다. 접근에 영향을 주는 제품의 특성 요소는 형상, 형상구조, 크기, 부품의 수 등이 있다.

2.2 제품의 특성 요소

조립 및 분리 공정에서 제품의 취급성과 접근성을 고려한 복잡도는 제품의 특성요소에 의해 영향을 받게 된다. 취급성을 고려한 제품의 복잡도에 영향을 미치는 제품의 특성요소와 접근성을 고려한 제품의 복잡도에 영향을 미치는 제품의 특성 요소를 Fig. 3과 같이 나타내었다.

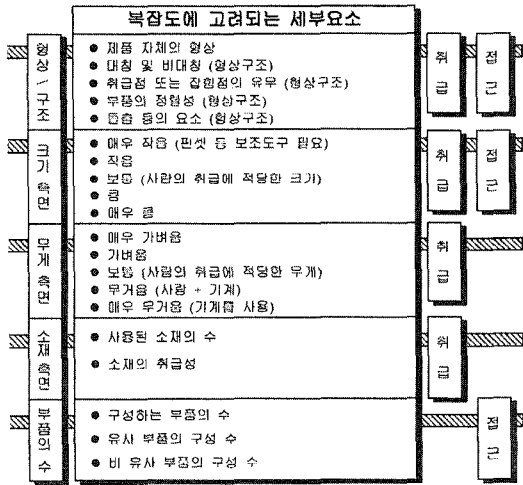


Fig. 3 복잡도에 고려되는 세부요소의 분류

제품의 형상은 작업자나 기계 등의 취급 수행체가 제품을 취급 할 때 영향을 주며, 접근 수행체가 제품으로 접근할 때도 역시 영향을 주게 된다. 형상구조는 형상만을 보았을 때는 제품의 복잡도가 증가 되지만, 취급성과 접근성을 고려함으로써 제품을 취급하거나 접근을 쉽게 할 수 있는 요소 또는 형상이 가지는 복잡도 값 이상으로 복잡도에 영향을 미치는 요소를 의미한다. 형상구조에는 취급을 쉽게 하는 취급점 또는 집합점 등과 접근을 쉽게 해주는 대칭성, 반복성, 접근지점의 정렬성 등이 있을 수 있다. 이런 형상구조는 취급 수행체나 접근 수행체의 종류에 따라 달라지게 된다. 그러므로 제품의 형상이나 형상구조는 취급성과 접근성에 동시에 영향을 주는 제품의 특성 요소이다.

형상은 제품 또는 부품의 외관상 나타나는 3차원적인 모양을 나타낸다. 제품의 형상에서 내부 부품들은 외부 부품들에 의해 가려져 있기 때문에 형상을 이루는 부분에서 제외되게 된다. 예를 들면, 여러 개의 부품들로 이루어진 제품이 있을 때 몇 개의 부품만이 겉으로 나타나고 나머지는 이 부품들에 의해 가려진다면, 이 제품의 형상은 몇 개의 외부 부품들로 이루어지게 된다. 또한, 외부 부품도 결합된 면은 형상을 구성하는 부분에서 제외된다. 즉, 제품의 형상은 제품을 구성하는 부품 중 겉으로 드러나는 외부 부품과 그 중에서도 결합면 등 가려진 면을 제외한 부분으로 나타내어 진다.

제품의 크기는 취급 수행체가 제품을 취급하거나 접근 수행체에 의해 접근하는데 영향을 미친다. 취급 대상이 되는 제품의 크기가 취급 수행체가 다룰 수 있는 범위보다 크다면 이 제품의 취급은 매우 어렵게 될 것이다. 그리고 접근 수행체가 접근하기에 접근 영역이 적은 제품도 접근을 어렵게 할 것이다. Fig. 4는 부품 등의 크기가 클수록 Time Penalty가 증가함을 보여주고 있다. 제품으로 접근할 때 제품의 형상은 동일하고 크기가 다르다면, 크기가 큰 것이 접근 수행체의 접근 범위 내에 있을 때 접근이 더 유리 하다. 왜냐하면, 제품의 크기가 클수록 제품에 접근할 수 있는 허용 공간이 대체로 넓어지기 때문이다.

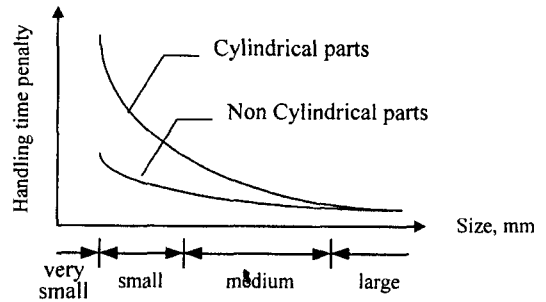


Fig. 4 크기에 따른 Time Penalty⁽²⁾

제품의 무게는 취급 수행체의 능력에 따라 어렵거나 또는 취급 불능이 되므로 취급성에 영향을 미친다. 반면, 접근은 제품이나 부품이 정렬 및 고정된 상태에서 이루어지기 때문에 접근성에는 영향을 미치지 않는다. 취급 수행체는 제품의 무게가 취급할 수 있는 범위 내에 있을 때 취급을 할 수 있게 된다.

소재는 취급성에 관련되어 지는데, 소재의 종류에 따라 취급에 주의를 요하는 것도 있고, 취급에 큰 주의가 필요하지 않는 것도 있다. 또한 구성하는 소재의 수가 증가하게 되면, 취급할 때에 주의해야 할 정보가 증가하게 된다. 보통의 제품은 하나 이상의 소재로 구성되어 지는데 사용된 소재와 소재의 수에 따라 취급성의 정도가 달라지게 된다³⁾.

제품을 구성하는 부품의 수는 사용된 부품의 구성에 따라 접근에 대한 정보를 다르게 준다. 부품이 유사한 형상이나 기능구조로 구성된 경우에는 접근 시에 접근 수행체에 의한 접근에 대한 정보가 단순하게 되어 질 수 있다⁴⁾. 예를 들면 형상에 약간의 차이가 있어도 체결점 위치가 동일하다면 접근 수행체의 접근이 용이해 질 것이다. 보통의 제품은 형상 및 기능구조가 유사한 부품들과 상이한 부품들로 구성되어 있다. 유사한 부품들을 묶을 때 부품 군들의 수와 이 군들에 속한 부품들의 수에 따라 접근성에 영향을 미치게 된다. 여기에서 고려되는 부품들은 접근에 영향을 주는 외부 부품들이다.

3. 제품 특징 요소에 의한 제품의 복잡도 비교

3.1 제품 형상의 분석 및 복잡도

제품의 형상을 분석 및 비교하기 위해서 제품을 상세하게 묘사하게 된다면 정확한 정보를 얻을 수 있지만 많은 시간과 노력이 필요하게 될 것이다. 그러므로 제품 형상의 특징을 단순하게 표현하여서 적은 시간과 노력으로 형상의 복잡 여부를 비교하는 것이 더 경제적일 것이다. 단순하게 형상을 나타내는 방법으로 CAD 등에서 형상을 나타내기 위해 이용되는 Wireframe Model, Surface Model, Solid Model 등이 있다. 또한 Edge oriented model의 방법으로 제품의 형상을 표현하는 방법이 있다⁵⁾. 그러나 이러한 Modeling 방법들은 복잡도를 비교하기 위한 필요 이상의 정보를 담고 있다. 그래서 복잡도를 파악하기 위해 제품의 형상을 나타내는 방법으로 Wireframe Model, Surface Model, Solid Model에서 복잡

도 평가를 위해 형상을 표현할 때 불필요한 정보를 제거시키고 복잡도 비교 기준들을 설정하였다. 제품의 형상을 나타내기 위해 Fig. 5와 같이 제품의 형상 표현 요소로 POINT, Curve POINT, EDGE, Curve EDGE로 분류하였다.

3.1.1 형상 표현 요소

형상 표현 요소 중 POINT는 3개 이상의 면이 만나서 형성하는 꼭지점이며, Curve POINT는 한 개 이상의 곡면이 만나는 POINT이다. 즉, Curve POINT는 곡면을 나타내기 위한 곡선이 시작되는 지점을 의미한다.

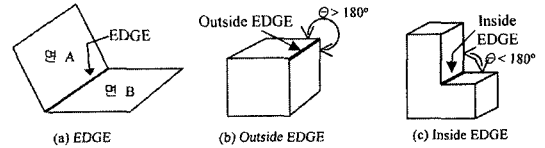


Fig. 6 DEGE의 표현과 종류

EDGE는 Fig. 6 (a)와 같이 두 개의 평면 또는 곡면이 만나서 생기는 직선을 나타내며 EDGE를 이루는 두 면의 각이 180° 보다 작을 때는 Inside EDGE가 되고, 두 면이 180° 보다 클 때는 Outside EDGE가 된다. 만약 두 면이 이루는 각이 180° 와 같거나 EDGE를 나타내기 위한 기준치수보다 EDGE의 기울기가 작다면, 이것은 하나의 면이 되어 EDGE가 성립하지 않는다. Curve EDGE는 두 개의 면 중 적어도 하나는 곡면으로 EDGE가 곡선의 형태로 된 것이며 EDGE와 마찬가지로 Inside Curve EDGE와 Outside Curve EDGE로 나누어진다. Fig. 7과 같이 Inside Curve EDGE와 Outside Curve EDGE를 구분하기 위한 각은 곡선면이 시작되는 점과 끝나는 점을 연결한 선을 기준으로 하였다. 만약 곡면이 90°를 넘게 되면 시작점에서 90°와 만나는 점까지 이은 선이 기준이 된다. 두 개의 곡면이 만날 경우에는 곡면을 이루는 원 중심 위치가 달라지는 부분을 기준으로 Curve EDGE가 표현된다.

표현형태	명칭	설명
●	POINT	제품형상에서 꼭지점을 나타내는 요소
○	Curve POINT	곡선 및 구형을 표현하기 위한 요소
—	EDGE	Point 및 Point를 서로 연결해주는 요소 제품의 외곽선을 나타냄
⤿	Curve EDGE	제품의 곡면을 나타냄

Fig. 5 형상을 단순하게 표현하기 위한 표현 요소들

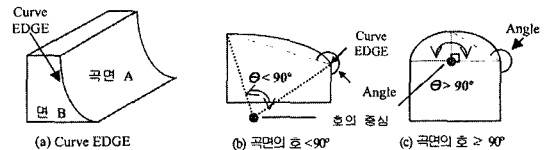


Fig. 7 Curve EDGE의 표현

3.1.2 형상 단순화의 표현 방법

EDGE와 Curve EDGE로 형상을 표현하기 위해서는 어느 정도까지의 두께를 한 EDGE로 나타내야 할지를 결정해야 한다. 본 연구에서는 형상을 표현하기 위한 EDGE의 두께를 표현의 기준 치수로 정의 하였다. Fig. 8 (a)에서의 기준치수가 D_1 과 같을 경우에는 면의 두께가 기준 치수보다 작으므로 면은 한 개의 EDGE로 표현되며, 기준치수가 D_2 와 같을 경우에는 면의 두께가 기준치수보다 크므로 면은 두께 이상의 EDGE로 표현된다.

Fig. 8 (b)와 같이 모따기 되어 있는 모서리 부분의 길이 a 가 기준 치수 D_3 보다 크다면 모따기 된 부분은 무시되며, 기준 치수 D_4 와 같은 경우에는 $a > D_4$ 이므로 모따기 한 부분이 Curve EDGE 등으로 표현된다. Fig. 8 (c), (d)에서 곡선면의 높이 b, c 가 각각 $b \leq D_5, c \leq D_7$ 이므로, 이것은 Curve EDGE가 아니라 EDGE로 표현된다. 반면 기준 치수가 D_6, D_8 와 같은 경우에는 $b > D_5, c > D_7$ 이므로 곡선면은 Curve EDGE로 표현된다.

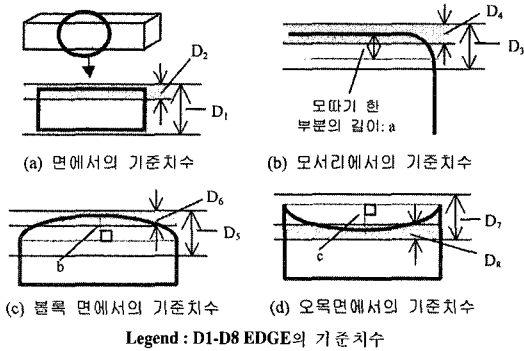


Fig. 8 기준치수에 따른 EDGE의 표현

3.1.3 비교 제품군

형상 표현요소로 제품의 형상을 나타낼 때 구체적으로 표현 된다면, 형상 비교는 더 용이하게 되겠지만 많은 시간과 노력이 요구되어 질 것이다. 제품의 취급성과 접근성에 영향을 작게 미치는 요소를 단순하게 표현함으로써 형상을 쉽게 나타낼 수 있을 것이며 제품의 상대적인 복잡도의 비교가 더 간단하여 질 것이다. 이것은 비교하는 제품에 따라 달라 질 수 있다. 비교 제품 군을 Fig. 9와 같이 나누었다.

A군은 비교하는 대상의 크기와 형상이 서로 유사하므로 형상 표현을 위한 기준치수를 작게 잡아야 형상의 차이가 분명히 나타낼 것이다. B군은 크기는 비슷하지만

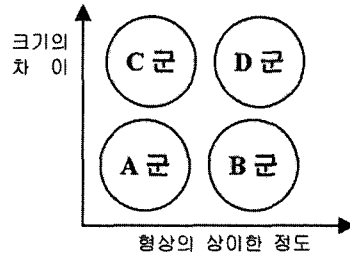


Fig. 9 비교 대상의 분류

형상이 서로 상이한 경우이므로 표현 기준치수를 크게 잡는 것이 유리할 것이다. C군은 제품의 형상은 비슷하지만 크기가 다를 경우이므로 기준치수를 작은 제품의 치수에 맞추어 설정해야 한다. D군은 제품의 형상과 크기가 모두 다르므로 기준치수를 작은 제품의 치수에 맞추어 설정면서, 크게 잡는 것이 유리할 것이다.

3.1.4 형상 복잡도 평가의 비교 기준

4개의 형상 표현 요소에 의해서 표현된 제품의 형상을 비교하기 위해 형상 비교 기준을 다음과 같이 POINT의 수, Curve POINT의 수, EDGE의 수, Curve EDGE의 수, 독립 평면의 수, 독립 곡면의 수, 다면체의 수, 곡면체의 수로 나타내었다(Fig. 10).

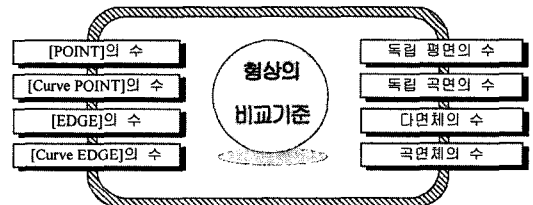


Fig. 10 제품의 형상 비교를 위한 형상 비교 기준들

- POINT의 수 : 제품 형상의 표현에 이용된 POINT의 수
POINT의 수가 많을 수록 형상이 복잡하게 구성된다.
- Curve POINT의 수 : 제품 형상의 표현에 이용된 Curve POINT의 수
- 독립 EDGE의 수 : 평면이나 다면체 등의 일부분으로 포함되어 있지 않은 EDGE의 수
- 종속 EDGE의 수 : 평면 등을 이루는 일부 요소로 포함되어 있는 EDGE의 수
종속 EDGE는 Inside EDGE와 Outside EDGE로 나누어진다.
- 독립 Curve EDGE의 수 : 곡면이나 곡면체 등의 일

부분으로 포함되어 있지 않은 EDGE의 수

- 종속 Curve EDGE의 수 : 곡면 등을 이루는 일부 요소로 포함되어 있는 Curve EDGE의 수
 종속 Curve EDGE는 Inside Curve EDGE와 Outside Curve EDGE로 나누어진다.
- 독립 평면의 수 : 다면체 등의 일부로 포함되어있지 않는 평면의 수
 평면은 면 루프(Face Loop)에 의해 정의 되는데, 면 루프는 무한히 퍼져 있는 2차원 공간 위에서, 평면에 해당하는 영역을 규정하는 모서리선의 닫힌 영역이다 (Fig. 11 (a)).
- 독립 곡면의 수 : 곡면체 등의 일부로 포함되어있지 않는 곡면의 수
- 다면체의 수 : 형상을 이루는 다면체의 수 (Fig. 11 (b))
- 곡면체의 수 : 형상을 이루는 곡면체의 수 (Fig. 11 (b))

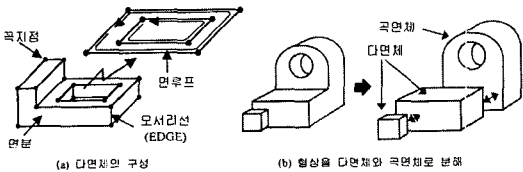


Fig.11 다면체와 곡면체의 표현⁽⁶⁾

3.1.5 형상 비교 기준에 의한 제품의 형상 복잡도 비교

형상 비교 기준을 통하여 제품을 서로 비교함으로써 형상의 상대적인 복잡도를 나타낼 수 있다. 각각의 비교기준에 의한 복잡도는 취급성과 접근성을 고려함으로써 제품의 복잡도에 미치는 영향의 정도가 달라질 것이다. 또한, 같은 비교 요소라고 해도 취급성에 미치는 영향과 접근성에 미치는 영향은 서로 다르게 된다.

각 형상 비교 기준들 중 EDGE나 Curve EDGE는 Inside와 Outside로 나누어 지는데, 여기서 Inside EDGE와 Outside EDGE는 취급하는 취급 수행체와 제품에 접근을 하는 접근 수행체에 각기 미치는 영향이 다르게 된다. 예를 들면 Fig. 12와 같이 Robot Arm에 의하여 제품이 취급 될 때에는 Outside EDGE가 Inside EDGE보다는 더 많은 영향을 미치게 된다. 드라이버와 같은 Tool의 접근에는 Inside EDGE가 Outside EDGE보다 더 많은 제약을 가지게 된다. 형상 비교 기준들에 의해 제품 형상의 복잡도를 구하는 것은 식 (1)과 같다.

$$CMP_f = \sum w_i N_i \quad (1)$$

여기서, CMP_f : 기준치수에 의한 제품 형상의 복잡도

N_i : i 번째 형상 비교 기준의 수

w_i : i 번째 형상 비교 기준의 가중치 ($\sum w_i = 1.0$)

i : 형상 비교 기준들

여기서 가중치는 각 비교 기준들이 제품 형상의 복잡도에 미치는 영향의 정도에 따라 합이 1.0($\sum w_i = 1.0$)이 되게 부여한다. 가중치의 결정은 취급 수행체의 종류와 제약 조건에 의해 달라질 수 있다. 그리고 접근도 접근 수행체의 종류와 제약 조건에 의해 달라질 수 있다. 여기서 결정된 제품 형상의 복잡도는 초기에 설정한 형상 표현의 기준 치수에 의존하게 된다.

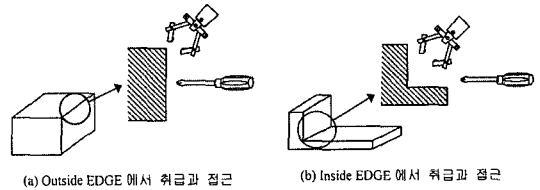


Fig. 12 EDGE에서 Robot Arm에 의한 취급과 Tool의 접근

3.2 제품 형상구조 측면의 복잡도

3.2.1 제품의 형상구조

제품의 형상구조라는 것은 취급성과 접근성을 고려할 때 형상이 제품의 복잡도에 미치는 영향의 정도보다 더 크게 미치거나 또는 더 적게 미치는 형상의 한 형태 또는 임의의 규칙에 의해 부품들이 결합된 것을 말한다. 예를 들면, 직육면체의 제품과 직육면체의 한쪽 면에 잡힘점이 있는 제품이 있다고 한다면, 형상 측면에서는 후자가 취급 복잡도가 높게 나타나지만 실제 취급 시에는 오히려 잡힘점이 있는 것의 취급이 더 쉽게 된다. 반면 형상 중에 원뿔의 형상이 존재한다면 형상 측면으로 표현 한 것보다 취급성은 더 어렵게 된다. 이러한 형상구조들에는 원뿔, 구, 복합곡선면 등의 형상과 시각성, 잡힘성, 영킹성, 겹침성, 대칭성, 무게중심 등이 있다. 여기서 고려되는 형상구조의 종류는 취급 및 접근 수행체에 따라 달라진다.

3.2.2 제품 형상구조 요소에 의한 제품 형상구조의 복잡도 비교

제품의 복잡도에 영향을 주는 형상구조는 앞에서 말한 것들과 같이 제품의 복잡도를 증가 시키는 것과 감소시키는 것이 있다. 여기서 고려 대상이 되는 형상구조는 형상과 마찬가지로 취급 수행체와 접근 수행체에 따라 달라질 것이다. 즉, 사람이 취급 할 때에 영향을 주는 형상구조의 종류와 기계가 취급할 때 영향을 주는 형상구조의 종류는 서로 다르다. 그러므로 형상구조의 종류는 수행체에 영향을 주는 것을 설정해 주어야 한다. 즉, 복잡도에 영향을 미치는 형상구조의 종류는 수행체에 종속되어 있으며 형상구조에 의한 복잡도의 값은 식 (2)와 같다.

$$CMP_s = \sum w_i PS_i \quad (2)$$

- 여기서, CMP_s : 형상구조에 의한 제품 형상의 복잡도
- P : $P=1$ (형상구조가 복잡도를 증가시키는 경우)
- $P=-1$ (형상구조가 복잡도를 감소 시키는 경우)
- S_i : i 번째 형상구조의 수
- w_i : i 번째 형상구조의 가중치 ($\sum w_i = 1.0$)
- i : 수행체에 따른 형상구조들

3.3 제품 크기 측면의 복잡도

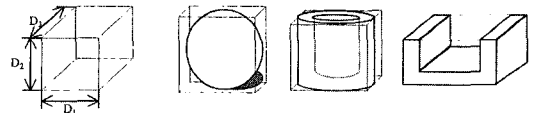
3.3.1 제품 크기의 기준

제품의 크기는 취급 수행체의 취급 가능한 범위에 따라 제품의 취급성에 따른 복잡도에 영향을 미치며 취급에 적절한 제품의 크기는 취급 수행체가 취급할 수 있는 범위 내에 있는 크기이다. 취급 범위는 수행체가 취급할 수 있는 범위와 취급이 용이하지 못한 범위와 취급이 불가능한 범위로 분류된다. 만약 제품이 현 수행체에 의해 취급이 어려운 경우에는 취급 수행체를 바꾸거나, 취급 도구를 교체할 필요가 발생한다. 이렇게 교체 되면 크기 측면에서의 제품 복잡도는 새롭게 계산 되어져야 한다. 복잡도를 평가하기 위한 제품의 크기는 취급 수행체의 취급 가능한 범위 내로 한정하였다. 제품 크기가 수행체의 취급 범위를 벗어나면 취급 수행체를 사용할 수 없기 때문이다²⁾.

취급하거나 접근하기 위한 제품의 기본 형상을 직육면체로 보았다. 왜냐하면 제품 형상의 표현은 3차원상에서 X,Y,Z 축의 좌표의 조합에 의해 표현되고, 취급 및 접근 수행체 역시 3차원 좌표축을 기준으로 움직이기 때문이다⁷⁾. 직육면체는 모든 면이 3차원상의 X,Y,Z 축과 나란하기 때문에 접근 방향이 단순하다. 즉, 1개의 좌표축만

을 고려하는 것이 2개 이상의 좌표를 고려하는 것보다 더 간단하기 때문이다. 단, 접근은 평면에 수직이며, 취급은 제품을 쥐기 위해 면에 나란하게 접근한다고 가정하였다.

크기의 측면에서, 취급을 고려할 때 Fig. 13 (a)와 같이 육면체의 X,Y,Z 축 각각의 길이를 d_x, d_y, d_z 로 정의하면, $d_x:d_y:d_z$ 의 비가 1:1:1이 될 때 정육면체가 된다. 취급에서 정육면체가 직육면체에 비하여 취급이 더 쉽게 된다. 왜냐하면 취급 면이 임의로 주어지면 취급하는 면의 조건이 동일한 경우가 각기 다른 경우보다 방향성 고려가 최소로 되어 취급성이 향상되기 때문이다. 그래서 정육면체인 경우를 기준으로 두어 제품의 형상을 포함하는 최소 크기의 육면체인 제품의 최소 직육면체가 정육면체를 얼마나 벗어났는가를 취급에서 크기 측면의 제품 복잡도라 정의하였다. 예를 들면 세면 중 두면만이 취급 수행체 범위 내에 속하는 직육면체가 취급 수행체 범위 내에 속하는 정육면체보다 취급이 더 어려울 것이다.



(a) 취급성의 기준
D_x, D_y, D_z: 변의 길이

(b) 접근성을 위한 직육면체 선정의 예

Fig. 13 취급성과 접근성을 위한 직육면체 기준

그리고, 접근 수행체 등의 제한을 무시할 때, 제품을 포함하는 최소한의 직육면체의 부피와 제품 자체의 부피 비율을 접근성을 고려한 크기 측면의 제품 복잡도의 기준으로 두었다. 직육면체는 제품의 놓임성(놓임안정성: 제품이 안정하게 놓여지는 정도)이 안정된 상태이기 때문에 접근할 때에 놓임성의 영향을 작게 받는다. 이 직육면체를 기준으로 Fig. 13 (b)와 같이 다양한 형태의 형상을 예를 나타내었다.

제품을 포함하는 최소의 직육면체의 부피와 제품 부피의 비율이 1보다 작을수록 제품이 접근에 복잡하다는 것을 의미하고, 1에 가까울수록 제품은 직육면체에 가까운 형상을 이룬다. 예를 들면 제품이 완전한 직육면체일 경우에는 비율이 '1'이 되지만 직육면체에 홈이 존재한다면 그 비율은 '1'보다 작아지게 된다. 비율에 의한 크기 복잡도는 제품의 형상 비교와 연관되어 진다. 즉 형상을 이루는 형상 표현 요소가 많고, 제품의 부피 비율이 작다면 이 제품은 복잡도가 높은 제품이 될 것이고, 형상 표현 요소의 구성은 단순하지만 제품의 부피의 비율이 작다면 이 제품

은 직육면체 모양이 아닌 예를 들면 공이나 원뿔 등과 같은 경우에 따라 취급이 용이하지 못한 형상일 것이다.

3.3.2 제품 크기 요소에 의한 제품의 복잡도 비교

취급에서의 크기 복잡도는 제품의 최소 직육면체의 적어도 한 면이 취급 수행체의 취급이 가능한 범위 내에 있는 것을 전제로 한다. 제품의 최소 직육면체의 X, Y, Z 축 길이 합과 같은 정육면체간의 비율로서 식 (3)과 같이 취급의 복잡도를 구하며 이 비율이 '1'에 근접할수록 정육면체에 가까워 짐을 의미한다.

$$CMP_{sh} = 1 - (d_x \cdot d_y \cdot d_z) \times \left(\frac{d_x + d_y + d_z}{3} \right)^{-3} \quad \text{if } H_L < (d_x + d_y + d_z)/3 < H_U \quad (3)$$

여기서, CMP_{sh} : 취급성을 고려한 크기 복잡도
 d_x, d_y, d_z : 최소 직육면체의 축 방향 길이
 H_L, H_U : 취급 수행체의 크기 취급 범위의 하한, 상한 값

접근에서의 크기 복잡도는 식 (4)와 같이 축 방향으로 구성된 최소 직육면체의 부피를 기준으로 제품의 부피 비율로 구한다. 이 비율이 '1'에 근접할수록 최소 직육면체에 가까워 짐을 의미한다.

$$CMP_{sa} = 1 - \frac{P_v}{d_x \cdot d_y \cdot d_z} \quad (4)$$

여기서, CMP_{sa} : 접근성을 고려한 크기 복잡도
 P_v : 제품의 부피
 d_x, d_y, d_z : 최소 직육면체의 축 방향 길이

3.4 제품 무게 측면의 복잡도

3.4.1 제품 무게의 기준

취급 수행체의 취급 가능한 무게 범위에 따라 제품의 취급 복잡도에 영향을 미친다. 취급하는 무게는 취급 수행체가 취급할 수 있는 무게의 범위 내에 있어야 한다. 만약 제품이 현 수행체의 취급이 어려운 경우 취급 수행체를 변경할 필요가 있다. 이 때는 변경된 수행체가 따라 취급 범위의 적용 등을 다시 해야 한다. 제품의 무게가 취급 수행체의 취급 적정 무게 범위 내에 있는 경우라고 해도 에너지 사용 등을 고려할 때 무게가 가벼울수록 취급성이 더 좋아 진다.

3.4.2 제품 무게 요소에 의한 제품의 복잡도 비교

무게에 의한 복잡도는 식 (5)와 같이 취급 수행체의 무게 취급 범위의 상한 값과 하한 값의 범위를 0~1로 맞추어 무게 복잡도의 값을 구하였다. 단, 제품의 무게는 취급 수행체의 취급 범위 내에 있음을 전제로 한다. 구해진 복잡도의 값이 '1'에 근접할수록 취급 상한 값에 근접함을 의미하고 이것은 취급 범위 내에서 상대적으로 무게에 의한 제품의 복잡도가 증가함을 의미한다.

$$CMP_w = \frac{x - W_L}{W_U - W_L} \quad \text{if } W_L < x < W_U \quad (5)$$

여기서, CMP_w : 취급성을 고려한 무게 복잡도
 x : 제품의 무게
 W_L, W_U : 취급 수행체의 무게 취급 범위의 하한, 상한 값

3.5 제품 소재 측면의 복잡도

제품에 사용되는 소재들은 제품을 취급할 때 많은 영향을 미친다. 예를 들면, 단순한 철이 소재인 경우는 취급할 때 많은 주의가 필요하지 않은 반면 유리와 같이 깨지기 쉬운 소재들은 취급할 때 많은 주의가 필요하다. 즉, 유리나 같이 취성이 약한 소재로 된 제품은 철로 된 제품보다 취급이 더 어려워 제품의 취급 복잡도가 더 크게 된다.

오늘날 존재하는 제품들은 한 종류 이상의 소재들로 구성되어 있다. 이런 소재의 복잡도를 구하기 위해 현존하는 모든 소재들마다 취급 복잡도 값을 부여한다는 것은 매우 어려운 일이며 취급 수행체의 종류에 따라 소재가 취급에 미치는 영향의 정도도 각기 다를 것이기 때문에 큰 효과를 기대할 수 없다. 그래서 사용되는 취급 수행체에 따라 사용된 소재들이 취급에 미치는 영향을 범위에 따라 분류하여 식 (6)과 같이 복잡도 값을 구하였다.

$$CMP_m = \sum w_i M_i \quad (6)$$

여기서, CMP_m : 소재에 의한 제품의 취급 복잡도
 M_i : i번째 그룹에 속한 소재의 수
 w_i : i번째 그룹의 가중치 ($\sum w_i = 1.0$)

3.6 부품 수 측면의 복잡도

복잡도 평가에 고려되는 부품들은 접근에 영향을 주는

것들만이 대상이 된다. 제품내부에 있는 내부 부품이나 Tool 등의 접근이 전혀 없는 곳에 위치한 부품은 접근에 영향을 주지 않기 때문이다. 제품 구성에 사용된 부품들은 유사한 것들이 많을수록 접근 수행체에 의해 Tool을 접근 시킬 때 필요한 정보와 판단이 단순해져서 제품으로의 도구 등의 접근이 쉬워진다. 제품을 구성하는 부품들 가운데서 유사한 부품들을 그룹화 한다면 하나 이상의 그룹이 생성될 것이다. 이 그룹은 또한 하나 이상의 부품들로 구성되어 있다. 이 그룹의 수가 많을수록 제품의 접근성 측면의 복잡도는 증가할 것이다. 부품수에 의한 복잡도의 값은 식 (7)과 같다.

$$CMP_p = \sum w_i P_i \quad (7)$$

여기서, CMP_p : 부품 수에 의한 제품의 접근 복잡도
 P_i : i 번째 그룹에 속한 부품의 수
 w_i : i 번째 그룹의 가중치 ($\sum w_i = 1.0$)

4. 취급성과 접근성을 고려한 제품의 복잡도 비교

앞 장에서는 제품의 복잡도를 평가하기 위하여 형상, 형상구조, 크기, 무게, 소재, 부품측면에서 각각의 산정 기준을 통해 복잡도를 나타내었다. 이러한 기준들을 동시에 고려함으로써 취급성이나 접근성을 고려한 제품의 복잡도를 나타낼 수 있다. 복잡도를 비교하기 위한 다수의 제품이 있을 때, 이 제품들은 상이한 제품일 수도 있고 유사한 제품일 수도 있다. 이러한 제품들의 복잡도를 비교하기 위해서는 하나의 기준이 있어야 한다. 이 기준을 설정하는 방법으로 먼저, 복잡도를 비교하기 위한 제품들 중에서 비교의 기준이 될 제품을 선정한다. 그리고 이 제품에서 구해지는 복잡도의 값을 '1'로 두고, 다른 제품들을 비교함으로써 제품들의 상대적인 복잡도를 나타낼 수 있다.

4.1 취급성을 고려한 제품의 복잡도 비교

취급성을 고려한 복잡도는 형상, 형상구조, 크기, 무게, 소재를 동시에 고려함으로써 비교되어 질 수 있다. 비교의 기준이 될 제품을 선정하였다면, 형상에서는 식 (8)과 같이 제품간에 형상 비교 기준의 수의 비로써 상대적인 복잡도를 구한다.

$$CMP_{cf} = \sum w_i \left(\frac{N_i}{N_{s_i}} \right) \quad (8)$$

여기서, CMP_{cf} : 형상의 상대적인 복잡도

N_{s_i} : 복잡도 비교의 기준이 되는 제품의 i 번째 형상 비교 기준의 수

제품의 형상구조와 소재는 구성하는 요소 수의 비로써 상대적인 복잡도를 나타낸다.

제품의 크기는 식 (9)와 같이 평가된 복잡도 값의 비에 상호 크기의 비를 곱하여 준다. 이것은 제품의 크기가 작을수록 유리 하기 때문이다.

$$CMP_{rsh} = \frac{(d_x \cdot d_y \cdot d_z)_i}{(d_x \cdot d_y \cdot d_z)_s} \times \left(\frac{CMP_{shi}}{CMP_{s,sh}} \right) \quad (9)$$

여기서, CMP_{rsh} : 제품 크기의 상대적인 복잡도

$CMP_{s,sh}$: 기준이 되는 제품의 크기 복잡도

CMP_{shi} : 비교하고자 하는 i 번째 제품의 크기 복잡도

$(d_x, d_y, d_z)_s$: 기준이 되는 제품의 최소 직육면체의 축 방향 길이

$(d_x, d_y, d_z)_i$: 비교하고자 하는 i 번째 제품의 최소 직육면체의 축 방향 길이

제품의 무게와 크기 역시 각 구해진 값을 기준이 되는 제품의 값으로 나눈 비로써 상대적인 복잡도 값을 구할 수 있다. 위와 같이 구해진 각 특성 요소들의 상대적인 비율 값을 통해 식 (10)과 같이 취급 복잡도의 상대적인 값을 구할 수가 있다.

$$CMPH = \sum w_i \cdot CMP_i \quad (10)$$

여기서, $CMPH$: 취급성을 고려한 제품의 상대적인 복잡도

CMP_i : 취급성에 영향을 주는 특성요소들의 비율 값

4.2 접근성을 고려한 제품의 복잡도 비교

접근성을 고려한 복잡도는 형상, 형상구조, 크기, 부품의 수를 동시에 고려함으로써 비교되어 질 수 있다. 형상에서는 취급성과 마찬가지로 식(8)과 같이 제품간에 형상 비교 기준 각각의 개수의 비로써 상대적인 복잡도를 구한다.

제품의 형상구조는 구성하는 요소 수와 기준제품의 형상구조 요소 수의 비로써 상대적인 복잡도를 나타낸다. 제품의 크기 및 무게도 취급성과 같은 방법으로 비율 값이 구해 질 수 있다. 이렇게 구해진 각 특성 요소들의 상대적인 비율 값을 통해 식 (11)과 같이 접근 복잡도의 상

대적인 값을 구할 수가 있다.

$$CMPA = \sum w_i \cdot CMP_i \quad (11)$$

여기서, $CMPA$: 취급성을 고려한 제품의 상대적인 복잡도

CMP_i : 접근성에 영향을 주는 특성요소들의 비율 값

4.3 쌍대비교를 통한 세부 요소들의 가중치 결정

복잡도에 세부 요소들이 미치는 영향은 각각의 세부 요소들에 가중치를 주어서 계산을 한다. 이러한 가중치를 주는 방법은 여러 가지가 있지만 대부분은 주관적인 방법에 의존한다. 가중치를 결정할 때 흔히 많이 쓰는 방법으로 두 가지의 대안을 놓고 서로 상대적인 중요성을 비교하는 쌍대비교법이 있다⁶⁾. 이러한 쌍대비교를 실시하기 위해서는 조립수행체의 사용 목적과 작업장의 상황 등을 종합적으로 고려하여 쌍대비교를 실시하여야 한다. Fig. 14에서는 취급 수행체가 One arm robot 일 때 쌍대비교를 통해 취급성의 세부요소들의 가중치를 구하는 예를 나타내었다.

취급 수행체 : One arm robot

쌍대비교												계	주관적 요인 가중치
비교 요소		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
형상	상	1	1	1	1							4	4/12 = 0.3333
형상구조	크	0			1	1	1					3	3/12 = 0.25
크기	무게		0		0	0	1	1				2	2/12 = 0.1667
무게	소재			0		0	1	1				2	2/12 = 0.1667
소재	부품수				0	1	1	0	0			1	1/12 = 0.0833
계												12	1.00

Fig. 14 쌍대비교를 통한 취급성의 세부요소의 가중치의 예

4.4 조립 공정에서 취급성과 접근성의 영향

접근성과 취급성의 제품의 조립 공정에서 미치는 영향은 공정의 상황에 따라 달라지게 된다.

Fig. 15에서는 일반적인 조립 공정에서 세부요소들의 기여도를 나타내는 것으로 영향을 많이 미칠 때 '2' 크기

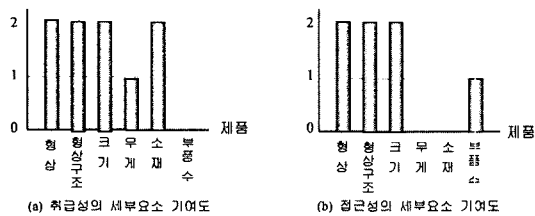


Fig. 15 조립 시스템에서 세부요소의 기여도⁽¹⁾

의 막대로, 영향을 거의 미치지 않을 때는 막대가 나타나지 않으며, 어느 정도 영향을 미칠 때는 '1' 크기의 막대로 나타낸다. Fig. 15 (a)에서 취급성은 '9'이고, Fig. 15 (b)에서 접근성은 '7'이다. 이 값들을 두 값의 합으로 나누어주면 일반적인 조립 공정에서 취급성의 가중치 $w(\text{취급}) = 9/16 = 0.5625$ 이고, 접근성의 가중치 $w(\text{접근}) = 7/12 = 0.4375$ 이 된다.

4.5 취급성과 접근성을 동시에 고려한 제품의 복잡도 비교

복잡도에 영향을 미치는 세부요소들을 통해 취급성을 고려한 제품의 복잡도와 접근성을 고려한 제품 복잡도를 구하였다. 일반적인 조립공정에서는 제품의 취급과 접근, 체결 등이 함께 일어난다. 그래서 식 (12)와 같이 조립, 분리 및 수리를 위한 제품의 취급과 접근을 동시에 고려하여 제품의 복잡도를 구하였다. 취급과 접근은 시스템에서 제품의 종류나 취급 목적 그리고 취급 방법에 따라 복잡도의 값이 달라질 수 있다. 그러므로 두 개의 복잡도 값은 각각 제품의 복잡도에 영향을 미치는 정도가 다르기 때문에 각각에 가중치를 주어 복잡도를 계산해야 한다. 이 때 가중치의 합이 '1'이 되므로 하나의 가중치 값이 w 라면, 나머지는 $(1-w)$ 가 된다.

$$CMPHA = w \cdot CMPA + (1 - w) \cdot CMPH \quad (12)$$

여기서, $CMPHA$: 취급성과 접근성을 동시에 고려한 제품의 상대적인 복잡도

$CMPH$: 취급성을 고려한 제품의 상대적인 복잡도

$CMPA$: 접근성을 고려한 제품의 상대적인 복잡도

w : 접근성의 가중치

5. 결론

오늘날에는 제품의 조립, 분리, 수리, 보존 등을 복합적으로 고려하는 추세이므로 여러 제품 설계의 대안 중에서 하나의 제품을 생산하려고 할 때, 조립공정에서 조립용이성에 많은 영향을 주는 취급성과 접근성 측면의 복잡도를 고려하여 제품을 설계 및 선택할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 제품의 취급성과 접근성을 고려한 제품의 복잡도를 평가 및 비교하였다. 이를 위해서 먼저 조립 공정 요소 및 제품의 특성요소를 분석하고 분류하였다. 그리고 분류된 제품의 특성요소인 형상, 형상구조, 크기, 무게, 소재, 부품의 수를 취급성과 접근성을 고려하여 각각의 복잡도

를 구하였고, 이들 특성요소들을 복합적으로 계산하여 취급성 및 접근성을 고려한 제품의 복잡도를 구하였다.

참 고 문 헌

1. 목학수, 김형주, 문광섭, 양태일, "자동차 부품의 조립용이성과 분리용이성", 한국학술진흥재단 보고서, 1996. 5.
2. B. Lotter, "Manufacturing Assembly Handbook", Butterworths, pp.114-149, 1989.
3. S. Kalpakjian, "Manufacturing Engineering and Technology", Addison-Wesley, 1994.
4. W. Eversheim, "Management of Complexity", WZL, Aachen, 1995.
5. I. Zeid, "CAD/CAM Theory and Practice", McGraw-Hill, Inc., pp.153-155, 1991.
6. 長尾眞 編, "패턴認識과 圖形處理", 機電研究社, pp. 95-133, 1993.
7. G. Boothroyd, "Assembly Automation and Product Design", Marcel Dekker, Inc., pp. 249-250, 1989.
8. 朴淳達, 曹圭甲 외, "産業工學概論", 喜重堂, pp. 72-75, 1992.