

계층적 특징형상 정보에 기반한 부품 유사성 평가 방법: Part 2 - 절삭가공 특징형상 분할방식 이용

김용세*, 강병구**, 정용희***

Part Similarity Assessment Method Based on Hierarchical Feature Decomposition: Part 2 - Using Negative Feature Decomposition

Kim, Y. S.*, Kang, B. G.** and Jung, Y. H.***

ABSTRACT

Mechanical parts are often grouped into part families based on the similarity of their shapes, to support efficient manufacturing process planning and design modification. The 2-part sequence papers present similarity assessment techniques to support part family classification for machined parts. These exploit the multiple feature decompositions obtained by the feature recognition method using convex decomposition. Convex decomposition provides a hierarchical volumetric representation of a part, organized in an outside-in hierarchy. It provides local accessibility directions, which supports abstract and qualitative similarity assessment. It is converted to a Form Feature Decomposition (FFD), which represents a part using form features intrinsic to the shape of the part. This supports abstract and qualitative similarity assessment using positive feature volumes. FFD is converted to Negative Feature Decomposition (NFD), which represents a part as a basic component and negative machining features. This supports a detailed, quantitative similarity assessment technique that measures the similarity between machined parts and associated machining processes implied by two parts' NFDs. Features of the NFD are organized into branch groups to capture the NFD hierarchy and feature interrelations. Branch groups of two parts' NFDs are matched to obtain pairs, and then features within each pair of branch groups are compared, exploiting feature type, size, machining direction, and other information relevant to machining processes. This paper, the second one of the two companion papers, describes the similarity assessment method using NFD.

Key words : Part Similarity, Features Recognition, Convex Decomposition, Negative Feature Decomposition

1. 서 론

오늘날 CAD시스템의 발달로 인해 CAD모델에 기반한 특징형상 정보를 이용하여 부품간의 유사성을 평가하려는 시도가 대두되고 있다^[1-3]. 특징형상은 부품의 형상 정보로부터 추론된 설계, 해석, 생산 등 엔지니어링 활동과 연계된 형상 요소이다. 따라서, 특징형상을 통한 유사성 평가는 적합하다 할 수 있다.

두 파트로 구성된 본 논문은 Kim^[4]에 의해 제안된

특징형상 인식기법인 convex decomposition을 이용하여 유사성 평가 기술을 제안하려 한다. Convex decomposition은 outside-in hierarchy의 구조를 통하여 부품을 표현하는 방식이다. Convex decomposition으로부터 얻어지는 Form Feature Decomposition (FFD)은 부품의 형상을 본질적으로 나타내는 특징형상을 이용하여 표현하는 방식이다. Negative Feature Decomposition(NFD)은 부품을 소재와 가공 특징형상 들로서 표현하는 방식으로 FFD로부터 통해 얻어진다. 본 논문의 유사성 평가 기술은 convex decomposition, FFD, NFD를 통해 표현되는 부품의 풍부하고 다양한 정보를 활용하여 부품의 유사성을 평가하는 방법을 사용한다. 파트 1에서는 convex decomposition 및 FFD를 이용하는 부품의 개략적인 유사성을 평가

*성균관대학교 기계공학부

**성균관대학교 기계공학부

***성균관대학교 기계공학부

- 논문투고일: 2003. 07. 25

- 심사완료일: 2004. 01. 13

방법을 제시하였고¹⁾, 본 파트 2에서는 NFD를 이용하는 절삭가공 특징형상의 구체성을 반영하는 유사성 평가 방법을 제시한다.

기존의 특징형상에 기반한 유사성 평가 기술 및 기타 유사성 평가 기술들을 파트 1 논문에서 소개하였다¹⁾. 일반적으로 특징형상에 기반한 유사성 평가 기술들은 특징형상의 속성 및 관계에 대한 특성을 정의하고, 이 특성을 통해 일정한 규칙에 따라 유사성을 평가하는 방법을 사용한다. 본 논문의 파트 1에서는 부품의 개략적 유사성을 평가 방법을 convex decomposition과 FFD를 이용하여 제시하였다.

2. Negative Feature Decomposition

본 유사성 평가 기술은 convex decomposition을 통하여 얻어지는 NFD를 이용하여 유사성을 평가하는 기술이다. Convex decomposition은 차집합과 convex hull을 이용한다. 이 decomposition은 주어진 형상의 convex hull을 취하고 이 convex hull과 기존 형상간의 차집합을 취하는 방법이다²⁾. 이 decomposition의 장점 중의 하나는 주어진 형상의 고유한 형상 정보에 기반한 계층적 정보를 제공한다는 것이다. Convex decomposition의 요소들은 특징형상을 구성 하는 original face들 간의 상호관계를 표현하지 못 할 수 있다. Convex decomposition은 부품을 보다 간결 하고 의미있는 요소들로 구성된 decomposition으로 변환될 수 있다. FFD는 convex decomposition 요소에 대해 조합작업을 수행하여 얻어지는 특징형상으로 구성된 decomposition방법이다³⁾. FFD는 제품 형상을 간결하고 의미 있는 형상으로 나타내기, positive와 negative 요소들로 구성될 수 있다. 따라서, 절삭 가공에 관련하여 FFD의 positive 요소는 소재로부터 제거 되는 형상에 관련한 negative 요소로 변환할 필요가 있다. FFD에서 기본 소재의 역할을 하는 depth 1 요소를 제외한 모든 요소들을 negative 요소로 변환한 decomposition이 NFD이다. FFD에서 NFD로의 변환은 특징 형상 요소들의 original 면들에 의해 결정되는 halfspace를 사용하여, positive 요소들에 대해 boolean expression을 함으로써 수행된다⁴⁾. 이러한 negative 특징형상들은 original face 혹은 fictitious face와 같이 면의 분류와 미리 정의된 feature type으로 분류가 된다. Fig. 1과 같이 부품 JF는 소재와 6개의 negative 특징형상들으로써 구성되어 있다.

본 논문에서 대상으로 하는 부품은 주로 각주형 소재, 특히 블록 형태의 소재로부터 절삭가공을 통해 가

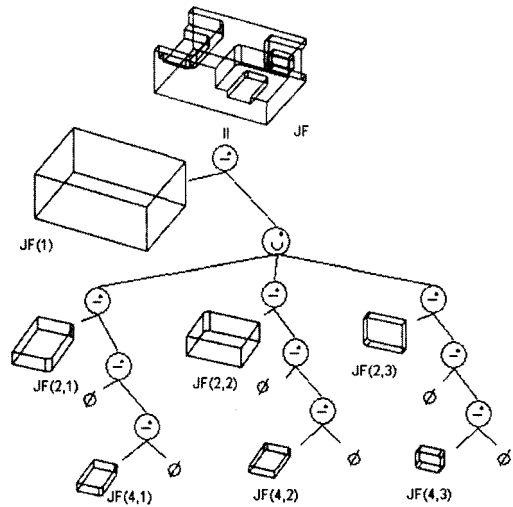


Fig. 1. Negative Feature Decomposition of Part JF.

공되는 부품들이다. 따라서, NFD가 절삭 가공 형상들로만 구성이 되어 있음은 부품의 유사성 평가 시 상당한 정보를 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다. 가공 관점에 있어, NFD에서의 각 형상들 간에는 선행관계가 존재한다. NFD에서 상위 depth에 위치한 형상은 하위의 depth에 위치한 형상보다 가공에 있어 선행한다. 예를 들어, 가공 시 JF(2,1)은 JF(4,1)보다 선행한다. 이에 반해, JF(2,1), JF(2,2), JF(2,3)는 서로 동등한 depth에 위치함으로써 가공 시 동등한 가공 순서를 갖는다. 따라서, NFD에서의 depth는 절삭가공 순서에 대한 정보를 내포함으로써 유사성 평가 시 중요한 요소로서 작용할 수 있다.

3. Negative Feature Decomposition을 이용하는 유사성 평가 기술

NFD의 구성은 절삭가공에 관련한 특징형상들으로써 구성이 되어 있다. 따라서 본 연구에서 대상으로 하는 절삭가공 부품의 유사성을 비교할 시 매우 유용하게 이용될 수 있다. 앞서, convex decomposition과 FFD를 이용한 방법은 개략적이고 일반적인 분류방법이었다면, NFD를 이용한 방법은 그 정보가 매우 구체적이고 다양하다. 따라서 NFD를 이용하는 유사성 평가 기술은 기준하는 부품에 대한 유사성을 비교하는 방식을 이용한다.

3.1 Feature Type

NFD에서의 각 negative 특징형상들은 공정설계 지

원을 위한 시스템인 Feature based Automatic Process Planning System(FAPPS)^[6]에서 정의한 기본특징형상(atomic machining feature)로 정의된다. FAPPS에서 정의된 약 30여개로 정의된 특징형상들은 가공공정과 방향의 유사성에 따라 다시 18개의 feature type으로 구성하였다. 같은 그룹에 존재하는 특징형상들은 유사한 가공공정과 방향성을 가짐으로 인해 동일한 feature type으로 정의될 수 있다. 하지만 동일한 feature type이라 할지라도 그 크기에 있어서 많은 차이가 있다면, 유사성 평가상에서의 동일한 특징형상으로 판단하기 힘들것이다. 따라서, base block에서 특징형상이 차지하는 부피 비로서 특징형상의 크기를 나타내고, 일정 크기를 초과하는 특징형상을 구분하여야 한다. 즉, 부품의 전체적인 형상과 가공적인 면에서 큰 영향력을 지닌 특징형상이 다른 특징형상들과 구분되어 부품의 특성을 나타낼 수 있게 하도록하는 작업자의 판단에 따라 일정 크기의 범위를 상대적으로 유연성하게 설정할 수 있다.

3.2 Accessibility Cone

가공방향에 대한 정보는 NFD를 통해 획득할 수 있다. 이는 depth 1 base block을 제외한 모든 특징형상들이 형성하는 accessibility cone으로 표현될 수 있다. 각 특징형상들의 accessibility cone은 해당 특징형상의 fictitious face의 법선 벡터로서 표현한다^[7]. 즉, 이 특징형상들의 모든 accessibility cone을 조합함으로써 부품의 가공방향에 대한 정보를 획득할 수 있다.

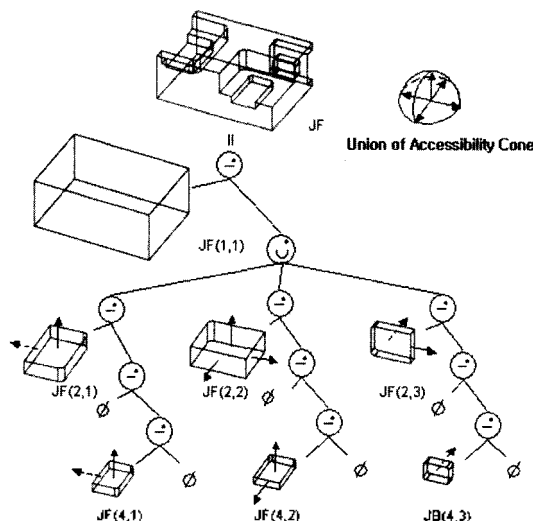


Fig. 2. Negative Feature Dcomposition of Part JF.

부품 JF의 특징형상들의 accessibility cone은 Fig. 2에서 보는바와 같다. Convex decomposition을 통한 accessibility cone은 depth 2 요소, 즉 primary removal shape를 통해 얻을 수 있는 대략적인 가공방향 정보인 반면 NFD를 통한 accessibility cone은 모든 negative 특징형상들을 통해 얻을 수 있는 구체적인 가공 방향이다.

3.3 Feature Type Similarity

NFD들의 요소는 가공되는 구체적인 특징형상에 대한 정보를 제공한다. 따라서 그 특징형상들 간의 유사성이 있음은 부품의 가공 공정 및 형상에 있어 유사함을 보여줄 수 있을 것이다. Feature type similarity는 부품간의 유사성 비교 시 부품의 negative 특징형상들 중 얼마나 많은 특징형상들이 서로 일치하는 feature type인지를 판단하여 그 유사성을 판단하는 것이다. Feature type에 따른 유사성 평가 시, NFD 구조에 반영되는 특징형상들 간의 상호관계를 이용하여 그 유사성을 평가하는 방법을 사용한다. NFD에서 각 특징형상들은 서로 상관관계를 가지고 있다. 서로 밀접한 관계를 갖고 있는 특징형상들은 NFD의 계층적인 구조상에서도 서로 가깝게 연계되어 표현되고, 뿐만 아니라 NFD의 생성시 함께 언어될 수 있는 각 특징형상들 간의 가공 선행관계 관련 정보^[9]등의 이용도 가능하다. Feature type similarity는 유사성 평가를 통해 나온 수치를 통해 유사성을 평가하는 방법을 이용한다.

Feature type similarity는 크게 다음의 3단계로 이루어진다.

- Step 1. 각 부품의 branch group을 결정한다.
- Step 2. 부품간의 유사한 branch set을 정한다.
- Step 3. 부품간의 feature type 유사성을 branch set에 의거하여 구한다.

Branch Grouping

Feature type similarity는 NFD가 형성하는 branch에 따라 그 유사성을 비교하는 방법을 사용한다. 분리되는 branch에 따라 각 특징형상들을 조합함으로써 서로 상관관계를 갖는 특징형상들을 조합하는 것이다.

초기 branch grouping은 다음 2가지 조건을 바탕으로 이루어진다.

- □Bottom-up 방식으로 특징형상들은 group 지어진다.
- □Grouping 작업은 union node를 접할 때까지 진행된다.

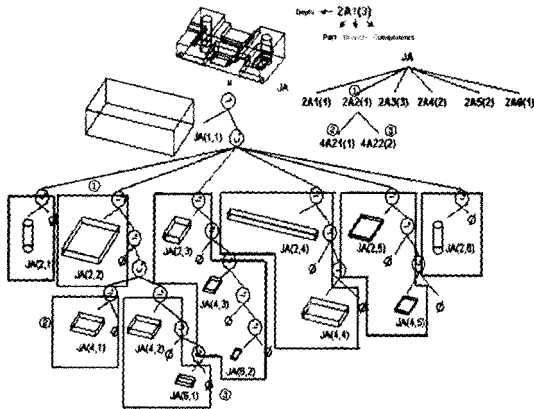


Fig. 3. Initial Branch Groups of Part JA.

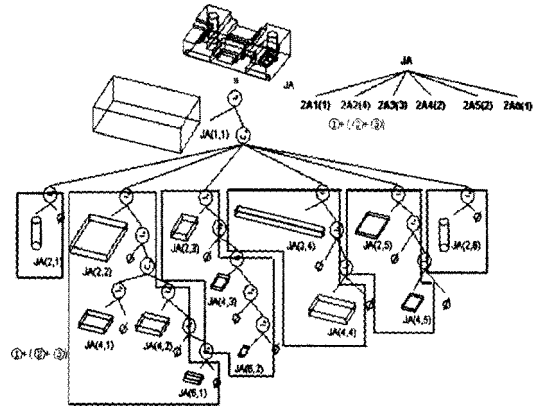


Fig. 4. Simplified Branch Groups of Part JA.

부품 JA의 초기 branch grouping은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 8개의 branch group으로 형성된다. 이렇게 구성된 초기의 branch group들은 다음의 heuristic 방법들에 의하여 합병되어, 각 부품마다 유일한 branch group들을 형성하게 된다.

- □ Grouping 작업은 union node를 접할 때 까지 진행된다.
- Heuristic 1 : 최상위 Depth가 2의 값을 가지는 branch group들끼리는 서로 합병하지 않는다.
- Heuristic 2 : 일정 개수 이하의 특징형상으로 구성된 branch group들은 같은 레벨 또는 상위 요소의 branch group과 합병.
- Heuristic 3 : 상위 요소 또는 동일 depth를 지닌 branch group들 간의 합병이 모호한 경우, 즉 여러 가지 합병할 수 있는 선택적인 상황을 가지게 되는 branch group들 간에는 합병을 하지 않는다.
- Heuristic 4 : 비교적 크기가 큰 특징형상, 즉 해당 특징형상의 부피가 base block의 부피에 대해 일정 크기 이상의 크기를 갖는 특징형상인 경우 따로 구분 짓는다.

Heuristic 2의 경우, 본 논문에서는 너무 많은 branch group이 생기지 않게 하고, 하나의 branch group에 너무 많은 특징형상들이 포함되지 않게 하기 위하여 실험적으로 일정 개수를 5개로 정하여 유사성 평가를 수행하였다. Fig. 3의 부품 JA의 초기 branch grouping에 Heuristic 2를 적용한 결과는 Fig. 4에서와 같다. Heuristic 3을 적용한 예는 Fig. 5의 부품 JC의 초기 branch group중 특징형상 JC(8,1) JC(8,2), JC(10,1), JC(6,4) 등으로 이루어진 branch group이 Heuristic 2에 의해서 합병이 되고, 특징형상 JC(8,3).

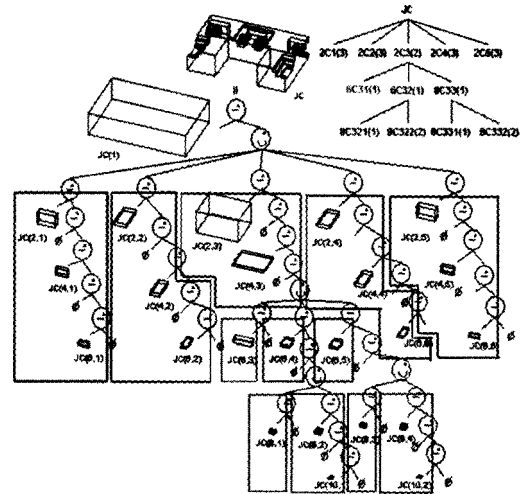


Fig. 5. Initial Branch Groups of Part JC.

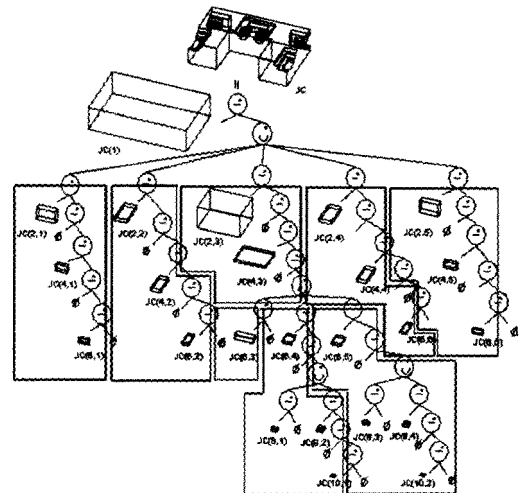


Fig. 6. Simplified Branch Groups of Part JC.

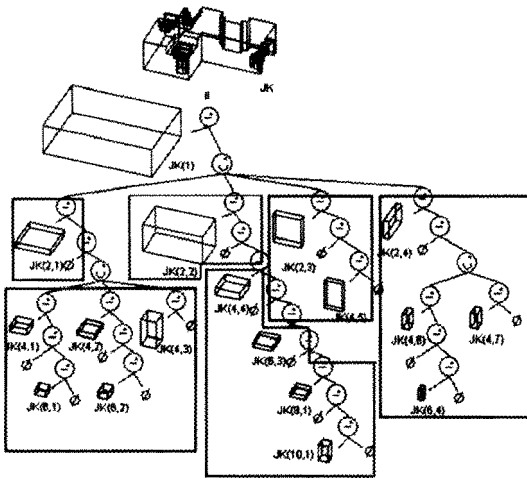


Fig. 7. Branch Groups of Part JK.

JC(8,4), JC(10,2), JC(6,5) 등으로 이루어진 branch group 또한 Heuristic 2에 의해서 합병 된다. 이 상태에서, depth 6에 있는 3 branch를 모두 한번에 합병하기에는 branch group내의 특징형상의 개수가 일정수를 초과하게되므로, JC(6,3)과 합병할 branch를 선택해야 하는 상황이 생기게 된다. 따라서 Heuristics 3에 의해, 모호성을 없애기 위하여 Fig. 6에서 보는 바와 같이 최종적으로 더 이상 합병되지 않은 3개의 branch group이 존재하게 된다. Heuristic 4에서 특징형상 크기에 따라 branch group을 구분 짓는 것은 그 크기가 매우 클 경우 부품의 전체 형상에 미치는 영향

이 크기 때문에 부품의 특징을 결정짓는데 있어 중요한 특징형상으로 작용할 수 있기 때문이다. 이러한 예는 Fig. 7의 부품 JK를 통해 확인할 수 있다. 이러한 heuristics를 통해 복잡한 branch group들의 구조를 단순화할 수 있으며, 특징형상 크기에 따른 branch group 구분을 통해 부품 형상에 미치는 영향이 큰 특징형상을 별개로 고려해 줄 수 있다.

Branch Group Matching

두 부품 사이에서 유사한 branch group을 결정하기 위해선 유사성을 판단할 수 있는 기준이 필요하다. 이러한 기준을 제시하기 위해 다음과 같은 branch group의 특성들을 정의한다.

- 1) Feature Type
- 2) Union of Accessibility Cones
- 3) Intersection of Accessibility Cones
- 4) Number of Feature

Feature type은 해당 branch group이 어떤 feature type을 포함하는 가를 의미한다. Feature의 수는 해당 branch group에 포함되어 있는 feature의 수를 의미한다. Union of accessibility cones는 해당 branch group의 특징형상들이 형성하는 accessibility cone의 조합을 의미하며, 이는 해당 branch group이 가공될 수 있는 전체 접근 방향을 의미한다. Intersection of accessibility cones는 branch group의 가공 허용 방향 중에 중복되는 주방향을 의미한다.

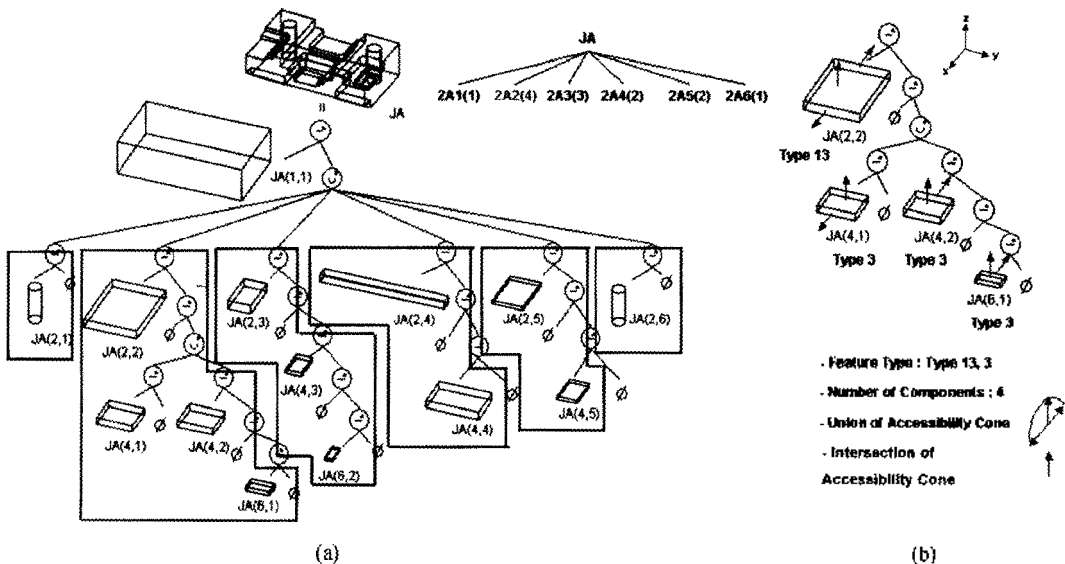


Fig. 8. Characteristics of Branch Groups (part JA).

Table 1. Characteristics of JA's Branch Groups

	Feature Type	Union of A. C	Intersection of A. C	No.
2A1	8	↕	↕	1
2A2	3, 13	↗	↑	4
2A3	1, 3, 4	↗	↑	3
2A4	3, 9	↗	↘	2
2A5	4	↗	↗	2
2A6	8	↕	↕	1

예를 들어, Fig. 8(a)의 branch group 중 2A2(4)에 대한 특성은 Fig. 8(b)와 같이 2A2(4)는 feature type은 type 3과 13, 두가지 feature type으로 구성되어 있고, 4개의 특징형상들을 포함하고 있다. Union of accessibility cone은 세 주방향을 갖는 2차원 반평면으로 표현된다. 또한 이 중 중복되는 accessibility cone의 주방향은 z방향에 해당한다. 부품 JA의 각 branch group들의 특성은 Table 1과 같이 요약할 수 있다.

각 부품마다 branch group들의 특성을 이용하여 다른 부품과 1대1 대응으로 branch group간의 상관 관계 점수를 구한다. Feature type similarity는 유사한 feature type를 갖는가를 고려하는 것이기에 branch group간의 유사성을 판단할 때 feature type의 일치 여부는 매우 중요한 요소로 작용한다. 따라서 두 branch group간에 feature type가 일치하는 특징형상이 존재하지 않는다면 두 branch group간에는 유사성이 없다고 가정한다. 4가지 특성들로 이루어진 두 부품간의 branch group의 점수를 부여하는 방식은 다음과 같다.

Feature type에 기준하여 branch group을 비교할 경우, Branch group b_1 과 Branch group b_2 의 feature type의 유사성 $FT(b_1, b_2)$ 는 다음과 같이 정의된다. 예를 들어, Fig. 9의 2A2와 4K1을 비교할 경우, $FT(2A2, 4K1) = (1+1)/(2+2) = 2/4 = 0.5$ 의 값을 갖게 된다.

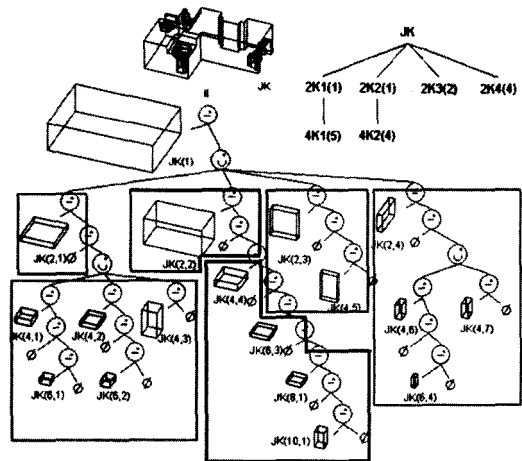
$$FT(b_1, b_2) =$$

$$\frac{b_1\text{에서 일치된 feature type 수} + b_2\text{에서 일치된 feature type 수}}{b_1\text{의 feature type 수} + b_2\text{의 feature type 수}}$$

Union of accessibility cone에 기준하여 branch group을 비교할 경우, union of accessibility cone의 유사성 $UAC(b_1, b_2)$ 는 $FT(b_1, b_2)$ 와 동일한 방식으로 정의된다. 예를 들어, 2A2와 4K1을 비교할 경우, 2A2의 accessibility cone의 주방향은 4K1의 accessibility cone의 주방향에 포함될 수 있다. 즉, 세 방향에 있어 일치하는 방향을 가진다. 따라서 $UAC(2A2, 4K1) = (3+3)/(3+4) = 0.857$ 의 값을 갖게 되는 것이다.

Intersection of accessibility cone에 기준하여 branch group을 비교할 경우, intersection of accessibility cone의 유사성 $IAC(b_1, b_2)$ 역시 동일한 방법으로 적용한다. 예를 들어, 2A2와 4K1을 비교할 경우, $IAC(4K1, 2A2) = (1+1)/(1+1) = 1$ 의 값을 갖게 된다.

특징형상의 수(Number of Feature)를 기준하여 branch group을 비교할 경우, feature 수의 유사성 $NF(b_1, b_2)$ 는 다음과 같이 정의된다. 예를 들어, 2A2와 4K1을 비교할 경우, $NF(2A2, 4K1) = 4/5 = 0.8$ 의 값을 갖게 된다.



<Characteristics of JA's Branch Sets> <Characteristics of JK's Branch Sets>

Feature Type	Union of A. C	Intersection of A. C	No.	Feature Type	Union of A. C	Intersection of A. C	No.
2A1	8	↕	1	2K1	4	↗	1
2A2	3, 13	↗	4	2K2	9	↗	1
2A3	1, 3, 4	↗	3	2K3	13	↗	2
2A4	3, 9	↗	2	2K4	4	↗	4
2A5	4	↗	2	4K1	3, 9	↗	5
2A6	8	↕	1	4K2	1, 4, 6	↗	4

Fig. 9. Characteristics of Part JA and JK.

$$NF(b_1, b_2) = \frac{b_1 \text{와 } b_2 \text{의 feature 수 중에 작은 수}}{b_1 \text{와 } b_2 \text{의 feature 수 중에 큰 수}}$$

Branch group간의 유사성(Branch Group Similarity, BGS)는 앞선 4가지 특성을 조합한 수치로서 판단한다. 즉, b_1 과 b_2 의 BGS는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$BGS(b_1, b_2) = w_1 \times FT(b_1, b_2) + w_2 \times UAC(b_1, b_2) + w_3 \times IAC(b_1, b_2) + w_4 \times NF(b_1, b_2)$$

각 weight factor는 작업자의 기준에 따라 변동될 수 있는 값으로 본 논문에서는 1의 값을 선택하였다. JK의 4K1과 JA의 2A2의 유사성($BGS(2A2, 4K1)$)은,

$$\begin{aligned} BGS(2A2, 4K1) &= 1 \times FT(2A2, 4K1) \\ &+ 1 \times UAC(2A2, 4K1) + 1 \times IAC(2A2, 4K1) \\ &+ 1 \times NF(2A2, 4K1) \\ &= 2/4 + 6/7 + 2/2 + 4/5 = 3.157 \end{aligned}$$

각 부품별 모든 Branch group에 대해 BGS 값을 구하고, 이 결과를 통해 유사한 branch group을 결정한다. 유사한 branch group을 결정하는 방식에는 여러 방법이 적용될 수 있다. 본 연구에선 가장 최상의 값을 차례로 선택하는 하는 방식(Best First Method)을 선택하였다. Best First Method를 통해 짝을 이룬 두 부품간의 branch group을 branch set이라 정의한다. Table 2에서 보는 바와 같은 부품 JA와 JK의 BGS값을 통해 도출된 4개의 짝을 이룬 branch group 결과를 Table 3에서 보여준다.

Branch set에는 서로 관계하는 특징이 다를 수 있다. 짝이 이루어진 branch set이라도 setup을 고려한다면, branch set에서 일치하는 feature type의 intersection of machining direction으로써 setup정보를 반영할 수

Table 2. Branch Group Similarity

JK \ JA	2K1	2K2	2K3	2K4	4K1	4K2
2A1	0	0	0	0	0	0
2A2	0	0	0.67	3.133	3.157	0
2A3	2.300	0	0	2.717	2.857	3.274
2A4	0	2.834	0	2.833	2.067	0
2A5	3.500	0	0	0	0	2.357
2A6	0	0	0	0	0	0

Table 3. Branch Group Matching

JA	2A2	2A3	2A4	2A5
JK	4K1	4K2	2K2	2K1

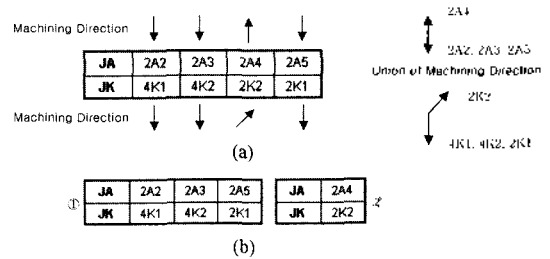


Fig. 10. Branch Set간의 machining direction.

있다. Fig. 10(a)와 같이 정의된 branch set의 가공을 고려하여 Fig. 10(b)와 같은 두 가지 경우를 얻어낼 수 있다. 이 두 가지 경우 중 택하는 방법은 어떤 branch set을 가공 방향을 일치시켰을 때, 더욱 유사성 점수가 크게 나오는가를 보고 판가름한다. Fig. 10(b)의 경우는 ①의 경우가 더욱 큰 점수를 얻게 된다.

Similarity Assessment Using Features

부품간의 Feature Type 유사성은 다음과 같이 부품간 Branch Set에 있는 특징형상들의 유사성으로 평가한다. NFD는 계층적 구조의 특성을 가지고 있다. NFD에서의 depth는 계층적 특성에 따라 상대적인 가공 순서에 대해 정보를 제공할 수 있다. 즉, depth의 깊이가 적을수록 가공이 상대적으로 우선하며, 구체적인 형상들로 나타난다. 따라서 부품의 형태에 미치는 영향은 상대적으로 높아진다. 즉, depth의 일치 여부가 유사성 평가 시 중요하게 작용할 수 있다. 두 부품간의 유사성 평가시, depth 2에서 일치하는 feature type이 발생한다면, 부품의 형상 및 가공 방향, 순서 등의 유사성이 상대적으로 크다고 할 수 있다. 이러한 현상을 반영하기 위하여 Feature Type Similarity의 점수 부여방식에서 depth를 고려한다. 본 논문에서는 Branch set의 가공을 고려한 과정까지 마치고 나면, 실제 가능한 경우의 수가 나오게 된다. 그러면 그 경우의 수를 평가하여 두 부품간의 가장 유사성 점수가 높은 것을 그 두 부품의 유사성 점수로 책정한다.

점수부여 방식은 가공 고려 과정까지 만족시킨 branch set에 대해서는 depth 2에서 동일한 feature type이 있을 경우 4점을 부여하고, depth 4 이상이고 동일 depth에서 feature type이 일치할 경우 2점을, depth에 무관하게 일치하는 경우는 1점을 부여한다. 그리고 branch set까지는 성립되었으나 setup 고려 과정에서 제외된 branch set에 대해서는 위의 점수 배점 방식의 1/2의 점수를 부여한다. 이 방식은 가공 일치

여부와 depth에 따른 가중치를 유사성 평가에 반영하게 된다.

부품 A에 대한 특징형상 f_a 와 부품 B에 대한 특징형상 f_b 의 Similarity Score $SS(f_a, f_b)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$SS(f_a, f_b) = \begin{cases} 4 & \text{if } \text{depth}(f_a) = \text{depth}(f_b) = 2 \\ 2 & \text{if } \text{depth}(f_a) = \text{depth}(f_b) > 2 \\ 1 & \text{if } \text{depth}(f_a) \neq \text{depth}(f_b) \end{cases}$$

하나의 특징형상은 다른 부품 내에서 같은 branch set으로 정의된 영역안의 한 요소에 대해서만 점수를 부여할 수 있다. 또한 상위 depth에서 하위 depth로 향하는 하향식 방식(top-down)에 의해 점수를 부여한다.

Feature similarity score들은 Total Similarity Score, TSS_k 의 포함되는 인수로서, machining direction을 고려한 k번째 branch set의 점수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$TSS_k = \sum_j \sum_i SS_j(f_a, f_b)_i$$

여기서 k는 machining direction을 고려하여 나온 k번째 branch set을 의미하고, j는 k번째 branch set 내의 짝을 이룬 branch group들을 의미하며, i는 그 branch group들 안에서 짝을 이루는 특징형상들을 의미한다.

예를 들어, Fig. 10(b)의 경우를 살펴보면, SS

$$\sum_i SS_{(2A2, 4K1)}(f_a, f_b)_i = 2 + 2 + 2 = 6.$$

$$\begin{aligned} \sum_i SS_{(2A3, 4K2)}(f_a, f_b)_i \\ = SS(\text{JA}(6,2), \text{JAK}(6,3)) + SS(\text{JA}(2,3), \text{JK}(4,4)) \\ = 2 + 1 = 3, \end{aligned}$$

$$\sum_i SS_{(2A5, 2K1)}(f_a, f_b)_i = SS(\text{JA}(2,5), \text{JK}(2,1)) = 4.$$

그리고, $TSS_{\text{①}} = 6 + 3 + 4 = 13$

$$\begin{aligned} TSS_{\text{②}} &= \sum_i SS_{(2A4, 2K2)}(f_a, f_b)_i \\ &= SS(\text{JA}(2,4), \text{JK}(2,2)) = 4 \end{aligned}$$

또한, 두 부품간의 Total Similarity Score, TSS는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$TSS = TSS_j + 0.5 \sum_{k \neq j} TSS_k$$

여기서 j는 TSS_k 에서 가장 큰 점수를 가지는 branch set이다.

이러한 방법으로 부품 JA와 JK의 TSS를 구하면,

$$TSS_{\text{①}} = 13 > 4 = TSS_{\text{②}} \text{이므로,}$$

$$TSS(\text{JA}, \text{JK}) = TSS_{\text{①}} + 0.5 TSS_{\text{②}} = 13 + 0.5(4) = 15.$$

최종적으로, 부품 A와 부품 B의 Feature Type Similarity, $FTS(A, B)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$FTS(A, B) = \frac{TSS(A, B) + TSS(B, A)}{TSS(A, A) + TSS(B, B)}$$

$TSS(\text{JA}, \text{JA}) = (4 \times 6) + (2 \times 7) = 38$ 의 수치를 갖고 $TSS(\text{JK}, \text{JK}) = (4 \times 4) + (2 \times 13) = 42$ 의 수치를 갖는다. 따라서 부품 JA와 JK의 Feature Type Similarity 수치는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} FTS(\text{JA}, \text{JK}) &= \frac{TSS(\text{JA}, \text{JK}) + TSS(\text{JK}, \text{JA})}{TSS(\text{JA}, \text{JA}) + TSS(\text{JK}, \text{JK})} \\ &= \frac{15 + 15}{38 + 42} = \frac{30}{80} = 0.375 \end{aligned}$$

이렇듯 Feature Type Similarity는 두 부품간의 유사성 점수를 통해 유사성을 표현한다. 동일한 부품에 대한 Feature Type Similarity 적용할 경우, $FTS(A, A) = 1$ 의 수치를 얻는다. 즉, 부품간의 유사성이 많을 수록 1에 가까운 수치를 나타낸다.

3.4 Feature Type Similarity 적용 예

15개의 부품에 대해 Feature Type Similarity를 적용해 보았다. Fig. 12(a)는 부품 JA를 기준하여 나머지 14개의 부품에 대해 Feature Type Similarity를 적용한 결과를 보여주는 그래프이다. 부품 JA를 기준하였을 경우 부품 JB가 가장 높은 수치 0.78를 나타내고 있다. 그 외의 부품들은 0.5이하의 값을 갖는 부품들이다.

이러한 결과를 통해 부품 JB가 JA에 상당 부분 유사한 부품으로 유사한 가공공정을 많이 갖고 있는 부품임을 예상할 수 있다. 부품 JK를 기준하여 나머지 14개의 부품에 대해 feature type similarity를 평가할 경우 Fig. 12(b)와 같은 결과를 도출해 낼 수 있다. JK를 기준하여 feature type similarity를 평가할 경우, 부품 JK와 JL이 가장 유사한 부품으로 구분된다.

부품 JM을 기준으로 나머지 14개의 부품에 대해 feature type similarity를 평가할 경우, Fig. 12(c)와 같은 결과를 도출해낼 수 있다. JM과 JO는 특징형상들의 구성이 완전 동일하나 서로 다른 셋업을 형성함으로써 유사성이 다소 떨어지는 결과를 낳는다. 이에

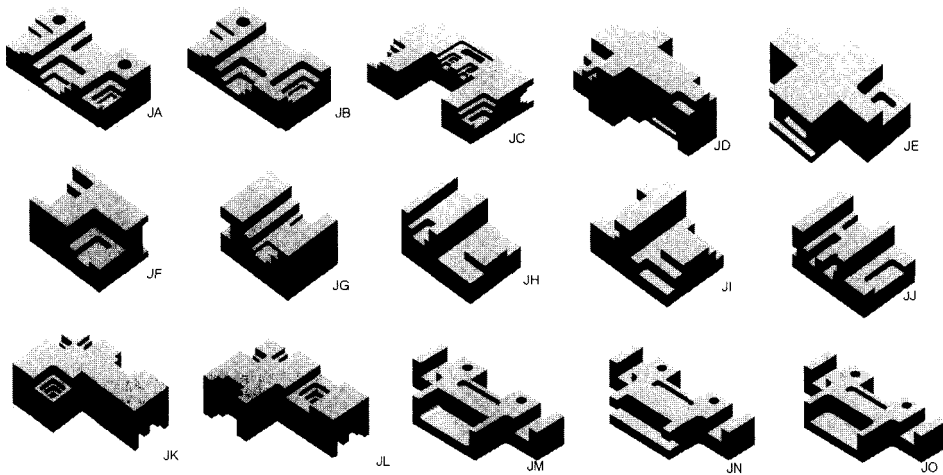


Fig. 11. Example Parts for the Feature Type Similarity.

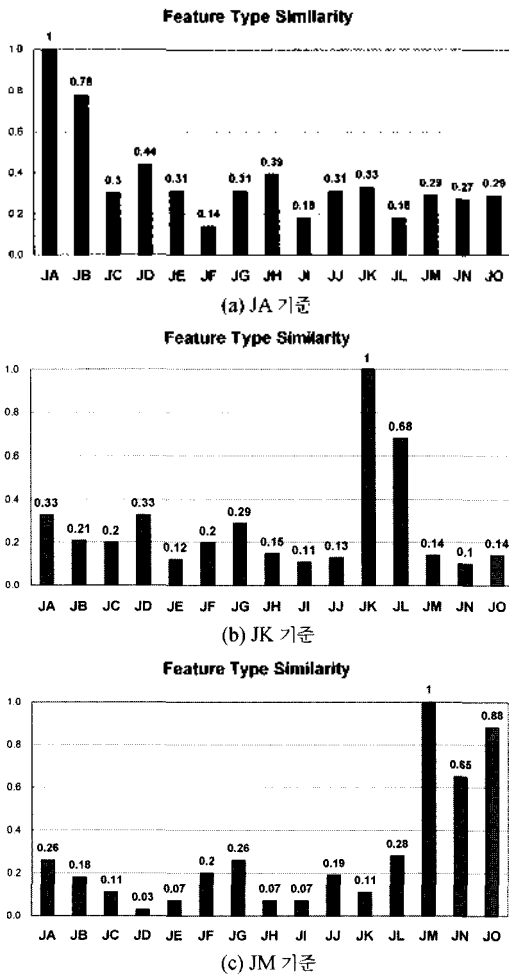


Fig. 12. Feature Type Similarity.

비해 JN은 전체적인 형상에서는 유사할 수 있으나 특징형상들 간의 상관관계가 상이하어 유사성이 JO에 비해 상대적으로 더 낮게 나오고 있다. 이렇듯 feature type similarity는 가공 및 셋업에 관련한 유사성 평가 시 적절히 이용될 수 있으며 특징형상들 간의 상관관계를 고려할 수 있다.

NFD는 절삭 가공에 관련한 특징형상들로만 구성되어 있다. 이러한 특징은 feature type에 따른 유사성 평가를 용이하게 한다. Feature type similarity는 NFD의 특징인 계층적인 구조를 고려함으로써 서로 상관관계를 갖는 특징형상들을 branch set을 통해 찾아내서 NFD에서 구조에서 주어지는 depth 정보를 반영하여 feature type 유사성을 비교하여 구한다. 그 외에 Accessibility cone을 통해 유사한 가공 방향을 갖는 부품간의 유사성을 파악할 수 있으며, 특징형상 크기 등을 통해 가공 공정 및 치구 설정에 관련한 유사성을 파악할 수도 있다.

3.5 Automatic Part Similarity Assessment System (APSA)

본 논문의 이론을 바탕으로 구현한 부품 유사성 평가 시스템에 대해서 설명하고자 한다. 3개의 윈도우로 구성된 APSA 시스템은 각각의 역할을 수행한다. 전체적인 유사성 평가를 메인 윈도우, 기준 부품과 비교 부품의 유사성 정보를 나타내는 윈도우 그리고 유사성 평가를 실시한 결과를 비주얼하게 보여주는 윈도우로 구성되어 있다. APSA 시스템은 많은 부품에 대해 손쉽게 결과물을 확인 할 수 있으며, 또한 비주얼한 정보를 제공함으로써 작업자의 지식을 축적하고

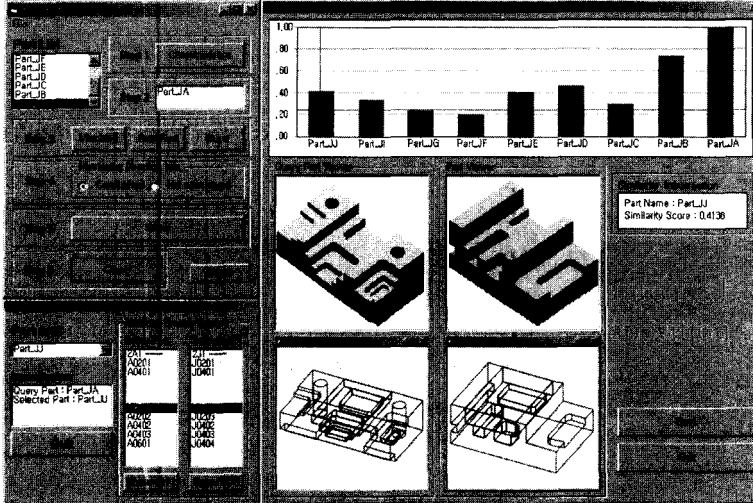


Fig. 13. Automatic Part Similarity Assessment System.

부품간의 유사성을 평가하는데 필요한 이론들을 확립할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 논문에서 제안하는 유사성 평가 기술은 convex decomposition에 의한 특징형상 인식기술의 장점을 활용하여 유사성을 평가한다. Convex decomposition으로부터 얻어지는 NFD는 절삭가공에 관련한 특징형상들로만 구성이 되어 있기 때문에, 절삭가공 관련 부품들간의 유사성을 파악 하는데 유용한 장점을 갖고 있으며, 이로 인해 구체적인 유사성 평가를 할 수 있다. NFD를 이용한 유사성 평가 기술은 절삭가공이 이루어지는 특징형상들을 기준으로 유사성을 평가하는 기술이므로, NFD를 이용한 유사성 평가 기술은 부품간의 가공 공정에 관련한 유사성 평가시 유용하게 이용될 수 있을 것이다. 본 논문에서 대상으로 하는 부품은 주로 각주형 소재, 특히 블록 형태의 소재로부터 절삭가공을 통해 가공되는 부품을 대상으로 하였으며, NFD의 기본 소재 형상의 유사성 평가를 추가한다면, 대상 부품의 형상을 확장 할 수 있을 것이다.

이렇듯 convex decomposition에 기반한 특징형상 인식기술을 통한 유사성 평가 기술은 가공 및 셋업에 관련한 다양한 유사성 정보를 제공함으로써 부품간의 유사성을 판단하는데 있어 적절히 이용될 수 있을 것이며, 현재 구현되어 있는 시스템의 확장을 통해 유사성을 평가하는데 보다 효율적인 유사성 정보를 활용할 수 있을 거라 기대한다.

감사의 글

본 논문은 한국과학기술연구원 지능형 공정설계 연구실에서 수행하는 과학기술부 국가지정연구실 사업(M1-0104-00-0054)의 위탁 연구로서 지원을 받는 연구 결과임을 밝힌다.

참고문헌

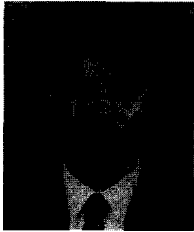
1. Ramesh, M., Yip-Hoi, D. and Dutta, D., "Feature Based Shape Similarity Measurement for Retrieval of Mechanical Parts," *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 1, No. 3, pp. 245-256, 2001.
2. Elison, A., Nau, D. and Regli, W. C., "Feature Based Similarity Assessment of Solid Models," *Proc. 4th ACM Symposium on Solid Modeling and Applications*, Atlanta, pp. 297-310, 1997.
3. Cicirello, V. A. and Regli, W. C., "Machining Feature-Based Comparison of Mechanical Parts," *International Conference on Shape Modeling and Applications*, Genova, Italy, May 2001.
4. Kim, Y. S., *Convex Decomposition and Solid Geometric Modeling*, Ph. D. Thesis, Stanford University, 1990.
5. 김용세, 강병구, 정용희, "계층적 특징형상 정보에 기반한 부품 유사성 평가 방법: Part 1 - 블록입체 분할방식 및 특징형상 분할방식 이용," 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제9권, 제1호, pp. 44-50, 2004.
6. Kim, Y. S., "Recognition of Form Features Using Convex Decomposition," *Computer-Aided Design*, Vol. 24, No. 3, pp. 461-476, Sept. 1992.

7. Waco, D. and Kim, Y. S., "Geometric Reasoning for Machining Features Using Convex Decomposition," *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 6, pp. 477-489, June 1994.
8. 노형민, 박면용, 하성도, 이충수, 박재민, 김재관, 박병태, 황인식, 이교일, 공상훈, 김용세, Eric Wang, "FAPPS(Feature based Automatic Process Planning System) 개발," 한국 CAD/CAM학회 학술 발표회 논문집, pp. 425-432, 2000.
9. Kim, Y. S., Wang, E. and Rho, H. M., "Geometry-Based Machining Precedence Reasoning for Feature-Based Process Planning," *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 10, pp. 2077-2103, Jul. 2001.



김 용 세

1983년 서울대학교 기계공학과 학사
 1985년 Stanford U. 기계공학과 석사
 1990년 Stanford U. 기계공학과 박사
 1990년~1997년 U of Illinois 조교수
 1997년~2000년 U of Wisconsin-Milwaukee 부교수
 2000년~2003년 성균관대 기계공학부 부교수
 2003년~현재 성균관대 기계공학부 교수
 관심분야: CAD/CAM, Feature-Based Process Planning, Visual & Spatial Reasoning, Intelligent Systems, Design Creativity



강 병 구

2002년 성균관대학교 기계설계학과 학사
 2004년 성균관대학교 기계공학과 석사
 2004년~현재 현대자동차
 관심분야: Computer-Aided Design, Feature-Based Process Planning, Design Creativity



정 용 회

2001년 성균관대학교 기계설계학과 학사
 2003년 성균관대학교 기계설계학과 석사
 2003년~현재 삼성 SDS
 관심분야: Computer-Aided Design, Feature-Based Process Planning