

계층적 특징형상 정보에 기반한 부품 유사성 평가 방법: Part 1 - 볼록입체 분할방식 및 특징형상 분할방식 이용

김용세*, 강병구**, 정용희***

Part Similarity Assessment Method Based on Hierarchical Feature Decomposition: Part 1 - Using Convex Decomposition and Form 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 base 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 first one of the two companion papers, describes the similarity assessment methods using convex decomposition and FFD.

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

1. 서 론

산업 현장에서 수많은 제품들이 매년 생산되고 있다. 이러한 제품들은 여러 부품들로 구성되어 있고, 부품들의 수는 실로 엄청나다 할 수 있다. 부품들은 각기 다른 형태, 크기, 기능을 갖고 있다. 그러나 이 부품들을 면밀히 살펴보면 그 부품들간의 유사성을 찾을 수 있을 것이다. 따라서 생산되는 부품들을 유사한

특성에 따라 부품 군으로 구성할 수 있을 것이다¹⁾. 부품군 내 각 개체의 가공공정이 유사하다면, 그룹화하여 생산 효율을 증대 시키는 것이 가능할 것이다. 공구, 치구, 셋업의 효율적인 이용이 가능하고, 효과적인 공정 계획 및 생산 일정 계획이 이루어질 수 있으며, 셋업 시간이 줄어들어 제조 리드타임까지 줄어 들 수 있을 것이다. 또한 새로운 부품의 설계와 생산에 있어서, 유사한 기존 부품의 간단한 설계 변경 그리고 이 기존 부품의 생산 공정 계획의 수정을 통해 효과적인 부품 설계 및 생산공정 계획을 가능하게 한다.

부품의 분류 방법은 일반적으로 Group Technology (GT) 기법이 널리 알려져 있다. GT기법은 부품간의 유사성을 이용해 유사한 부품을 정의하고 집합화 하

*성균관대학교 기계공학부
**성균관대학교 기계공학부
***성균관대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2003. 07. 25
- 심사완료일: 2004. 01. 13

는 기법이다. GT 코드체계는 가공관련 부품 특징을 일정한 코드로 나타내는 방법이다. OPITZ^[2]는 이러한 분류시스템의 대표적인 예라 할 수 있다. 또한 코드생성을 자동화하기 위한 기술들이 개발되기도 했다^[3]. 하지만, 코드 생성을 자동화하기 힘들기 때문에 작업자가 직접 부품의 도면을 해석하여 코드를 결정해야 하는 경우가 많다. 이로 인해, 부품의 설계 변경이 발생할 시 작업자가 다시 코드를 새로 결정해야 하기에 설계 변경에 대응하기 힘들다는 단점이 있다. 또한 작업자의 주관적인 분류로 인해 하나의 부품에 대한 코드가 작업자들마다 틀리며, 하나의 코드를 작업자들마다 서로 다르게 해석할 수 있는 단점을 가지고 있다.

오늘날 CAD시스템의 발달로 인해 CAD모델에 기반한 특징형상 정보를 이용하여 부품간의 유사성을 평가하려는 시도가 대두되고 있다. 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 특징형상들로서 표현하는 방식으로 FFD로 부터 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 방법을, 파트 2에서는 NFD를 이용하는 절삭가공 특징형상의 구체성을 반영하는 유사성 평가 방법을 제시한다.

2. 기존의 유사성 평가 기술

기존의 특징형상에 기반한 유사성 평가 기술 및 기타 유사성 평가 기술들을 소개하려고 한다. 일반적으로 특징형상에 기반한 유사성 평가 기술들은 특징형상의 속성 및 관계에 대한 특성을 정의하고, 이 특성을 통해 일정한 규칙에 따라 유사성을 평가하는 방법을 사용한다.

Ramesh, Yip-Hoi, Dutta 등은 특징형상의 종류에 기초하여 가공 시에 고려할 몇가지 관련사항을 이용하여 유사성을 평가하는 방법을 제안하였다^[5]. 이 방식은 가공 형상이 유사한 특징형상으로 간단하게 표현하고, 특징형상 사이의 공간과 크기에 관련된 특성을 포함하는 부품 특징을 정의하여 비교하는 방법이다. Setup과 공구가 유사성 평가의 중요한 요소로 작용한다. Feature type를 기준하여 각 특징형상들을 조합하지만 상호연관성을 고려하지 못했다는 단점과, 단순한 부품들에 대한 유사성을 평가할 수 있다는 한계를 지니고 있다.

Elison, Nau, Regli등은 3D모델을 그래프로 표현하는 방법에 기반한 유사성 평가 기술을 제안하였다^[6]. 유사성 평가에 관련한 속성 및 속성간의 관계를 그래프로 표현하고 제안된 일정한 축약 규칙에 따라 그래프 구조를 점차 축약된 형태로 표현하여, 두 부품의 그래프를 비교하여 유사성을 평가한다. 하지만, 이 기술은 구체적인 축약 규칙을 제시하지 않았으며, 복잡한 부품일 경우 그래프 구조 또한 복잡해짐으로서 유사성을 평가하는 과정이 복잡해 지는 단점을 안고 있다.

Cicirello와 Regli는 특징형상들과 이들간의 관계를 정의하는 Undirected Model Dependency Graph(UMDG)를 이용한 유사성 평가 기술을 제안하였다^[7]. 하지만, 특징형상들의 간접관계만을 이용한다는 단점이 있다.

Convex decomposition은 부품을 계층적으로 유일한 하나의 트리 구조로 표현하는 방법이다^[8]. 작은 규모의 설계변경과 convex decomposition의 계층적 구조의 관계에 대한 고찬^[9]등 convex decomposition의 유사성 평가 관련 기반 연구가 이미 수행된 바 있다. 또한 김철영, 김영호, 강석호 등은 convex decomposition을 이용한 유사성 평가 기술을 제안하였다^[9]. 하지만 이 기술은 convex decomposition의 단순한 형상적 성질만을 이용하였고, 다양한 정보를 활용하지 못하였다.

3. Convex Decomposition에 기반한 특징형상 인식기술

본 유사성 평가 기술은 convex decomposition을 이용하여 유사성을 평가하는 기술이다. 본 장에서는 convex decomposition에 기반한 특징형상 인식기술을 소개하고자 한다. 구체적인 설명은 [4], [10]를 참고할 수 있다.

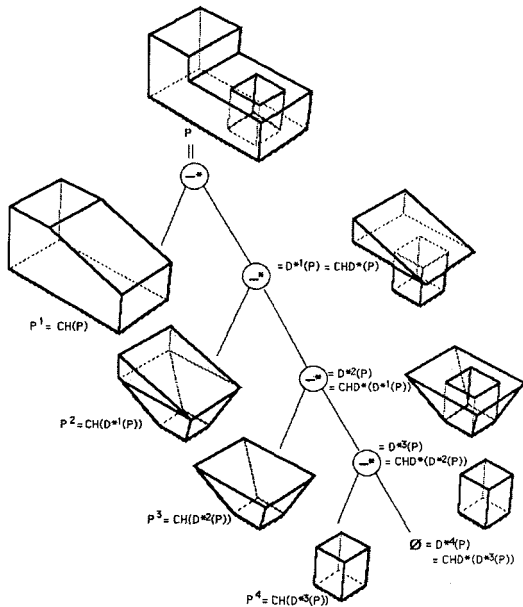


Fig. 1. Convex Decomposition of Part B^[4].

3.1 Convex Decomposition

Convex decomposition은 차집합과 convex hull을 이용한다. 이 decomposition은 주어진 형상의 convex hull을 취하고 이 convex hull과 기존 형상간의 차집합을 취하는 방법이다^[4]. 만약 차집합 결과가 존재하지 않는다면 이 형상은 하나의 convex 요소로서 표현이 되고, 그렇지 않을 경우는 차집합 결과로부터 얻어진 요소에 앞선 과정을 반복하게 된다. 이 decomposition의 장점 중의 하나는 주어진 형상의 고유한 형상 정보에 기반한 계층적 정보를 제공한다는 것이다. Fig. 1과 같이 모든 convex 요소들은 보다 상위 요소에 포함되어 있으며 구체적인 형상일수록 top-down 유형으로 인해 하위에 나열되는 특징을 가지고 있다.

3.2 Form Feature Decomposition

Convex decomposition의 요소들은 특징형상을 구성 하는 original face들 간의 상호관계를 표현하지 못할 수 있다. Convex decomposition은 부품을 보다 간결하고 의미 있는 요소들로 구성된 decomposition으로 변환될 수 있다. Form Feature Decomposition (FFD)은 convex decomposition 요소에 대해 조합 작업을 수행하여 얻어지는 특징형상으로 구성된 decomposition방법이다^[10]. 조합작업은 바로 상위 요소로부터 제거하는 scoop operation과 remedial partitioning으로 얻어진 요소들 중 동일한 volume

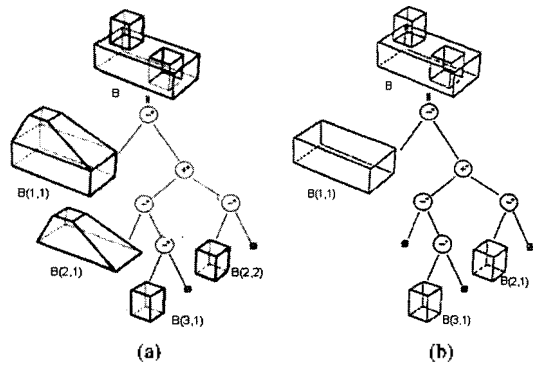


Fig. 2. (a) Convex Decomposition of Part B, (b) Form Feature Decomposition of Part B^[4].

contribution을 갖는 요소들을 union하는 join operation이 있다. Fig. 2 (b)의 B(1,1)은 Fig. 2(a)의 B(1,1)과 B(2,1)간의 조합작업에 의해 얻어진 요소이다. FFD의 특징형상들은 volume contribution에 따라 positive요소와 negative 요소로 정의된다. 이러한 특징으로 인해 FFD는 부품을 보다 간결하고 본질적인 특징형상으로서 표현할 수 있다. 예를 들어, Fig. 2(b)에서의 부품 B는 base block B(1,1)에 제거되는 요소 즉, negative 특징형상 B(2,1)과 덧붙여 있어 첨가될 수 있는 요소, 즉 positive요소인 특징형상 B(3,1)로서 표현될 수 있다.

3.3 Negative Feature Decomposition

FFD는 제품 형상을 간결하고 의미 있는 형상으로 나타내기, positive와 negative 요소들로 구성될 수

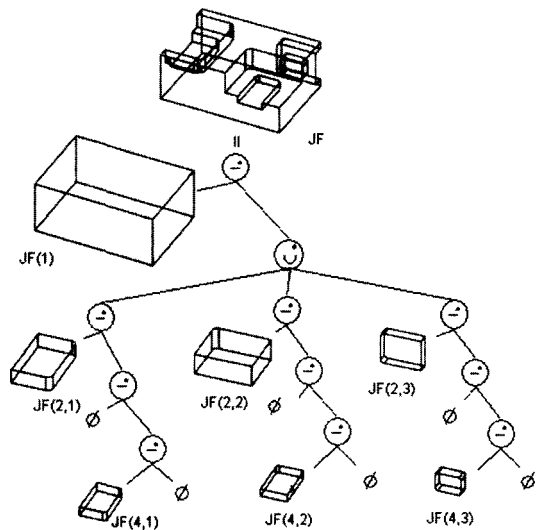


Fig. 3. Negative Feature Decomposition of Part JF.

있다. 따라서, 절삭 가공에 관련하여 FFD의 positive 요소는 소재로부터 제거되는 형상에 관련한 negative 요소로 변환할 필요가 있다. FFD에서 기본 소재의 역할을 하는 depth 1 요소를 제외한 모든 요소들을 negative 요소로 변환한 decomposition을 Negative Feature Decomposition(NFD)라 한다.

FFD에서 NFD로의 변환은 특징 형상 요소들의 original 면들에 의해 결정되는 halfspace를 사용하여, positive 요소들에 대해 boolean expression을 함으로써 수행된다^[11]. 이러한 negative 특징형상들은 original face 혹은 fictitious face와 같이 면의 분류와 미리 정의된 feature type으로 분류가 된다. Fig. 3과 같이 부품 JF는 소재와 6개의 negative 특징형상들로써 구성되어 있다.

4. Convex Decomposition에 기반한 특징형상 정보를 이용하는 유사성 평가 기술

앞서 convex decomposition을 이용한 특징 형상 인식 방법을 간략하게 소개하였다. 본 장에서는 convex decomposition의 장점을 이용하여 convex decomposition과 FFD를 이용한 유사성 평가 방법을 소개하고자 한다. NFD를 이용하는 유사성 평가 방법은 본 논문의 파트 2에서 소개한다.

4.1 Convex Decomposition으로부터의 유사성 정보

4.1.1 Accessibility Cone

Convex decomposition은 outside-in hierarchy의 특징을 갖는다. 상대적으로 트리에서 상위에 위치한 요소일수록 부품의 개략적인 형상에 대한 정보를 제공한다. Depth 1에 해당하는 요소는 convex hull 또는 rectangular hull등으로 positive volume contribution을 갖는 제품의 가장 대표적인 형상이다. 특히, depth 2에 위치한 요소의 경우 계층적 구조의 특징에 따라 하위 요소를 포함하는 요소로서 그 branch에 속한 모든 요소들의 상관관계에 의해 표현되는 형상의 대표적인 근사형상이라 볼 수 있다. Depth 2에 있으므로 이들은 negative contribution을 가지며, 따라서 depth 1 요소로부터 해당 부품을 절삭가공을 통해 가공할 때의 removal volume의 대표 형상이다. 이러한 이유로 depth 2의 요소를 primary removal shape이라 정의한다.

각 primary removal shape의 accessibility cone은 base block, 즉 depth 1으로부터 상속받는 fictitious

face의 법선 벡터로서 표현할 수 있다. 예를 들어, 부품 JF가 형성하는 accessibility cone은 Fig. 4와 같이 JF(1,1)의 면(f1~f6)로부터 상속받는 fictitious face의 법선 벡터로서 표현될 수 있는 것이다.

Fig. 5(a)는 부품 JF의 primary removal shape가 형성하는 accessibility cone을 보여준다. JF(2,1)의 경우, depth 1 요소, 즉 JF(1,1)으로부터 상속받는 면은 f5와 f3이다. 따라서 JF(1,1)의 accessibility cone은 f3과 f5의 법선 벡터로 표현될 수 있는 것이다. 부품이 형성 하는 가공방향에 관한 대략적인 정보는 각 primary removal shape가 형성하는 accessibility cone의 조합으로서 표현할 수 있다. Fig. 5(b)는 부품 JF의 각각의 요소들이 가지는 accessibility cone들의 union을 보여주고 있다. 즉, primary removal shape의 accessibility cone은 하위요소의 가공 방향 및 셋업에 대한 정보를 대표하는 요소로서 부품에서 주로 제거 되는 형상의 가공방향에 대한 정보를 제공할 수 있다.

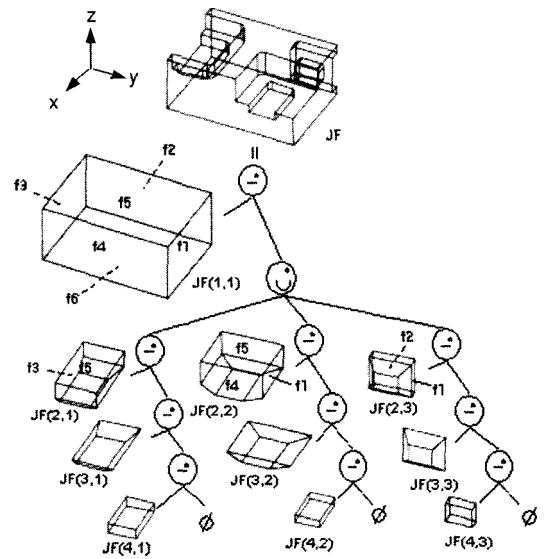


Fig. 4. Convex Decomposition of Part JF.

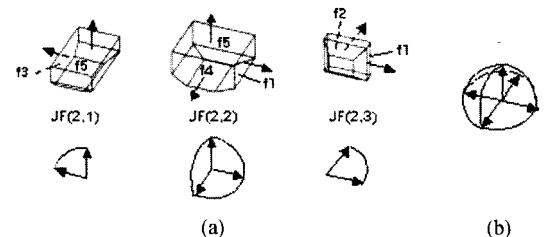


Fig. 5. (a) Accessibility Cone of Primary Removal Shape. (b) Union of Accessibility Cone.

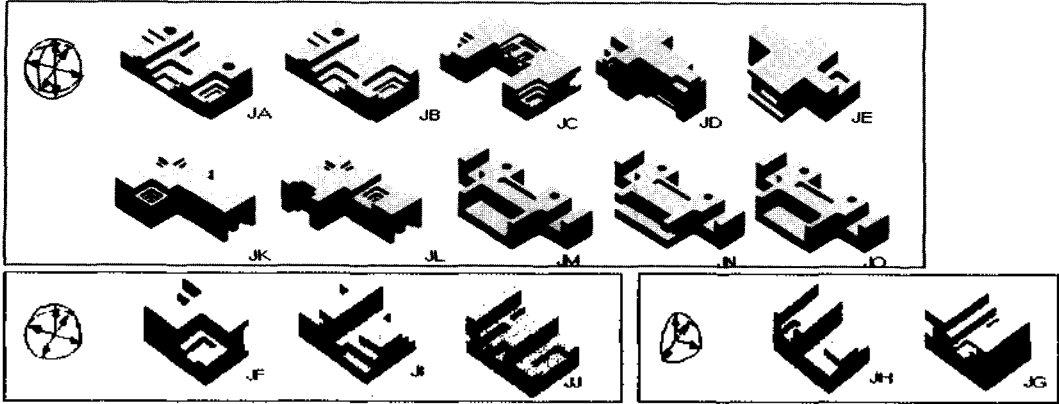


Fig. 6. Part Classification Using Accessibility Conc.

예를 들어, Fig. 6과 같이, 15개의 부품들을 union of accessibility cone에 기준하여 유사성을 파악할 경우, 3개의 그룹으로 분류할 수 있다. 부품 JA, JB, JC, JD, JE, JK, JL, JM, JN, JO 등과 같이 전체 accessibility cone이 모든 방향을 가지는 부품들의 그룹과 부품 JF, JJ, JJ 등과 같이 전체 accessibility cone이 halfspace인 부품들의 그룹, 또한 부품 JH와 JG 같이 전체 accessibility cone이 모든 방향의 1/4을 갖는 부품들의 그룹 등으로 분류될 수 있다.

Convex decomposition의 branch 정보는 서로 상관 관계를 갖는 요소들이 얼마나 존재하는가에 대한 유사성 판단에 이용될 수 있으며, depth 정보는 부품의

복잡성에 따른 유사성 판단에 이용될 수 있다. 또한 depth 2 요소에 해당하는 primary removal shape의 accessibility cone을 통해 부품이 형성하는 가공방향의 예상함으로서 가공방향에 따른 유사성 판단에 이용될 수 있다.

4.2 Form Feature Decomposition으로 부터의 유사성 정보

4.2.1 Positive Component

FFD는 부품의 형상을 좀더 간결하고 의미 있는 특징 형상으로 구성하는데, 이는 positive 요소와 negative 요소로 구성될 수 있다. 이러한 특성은 부품

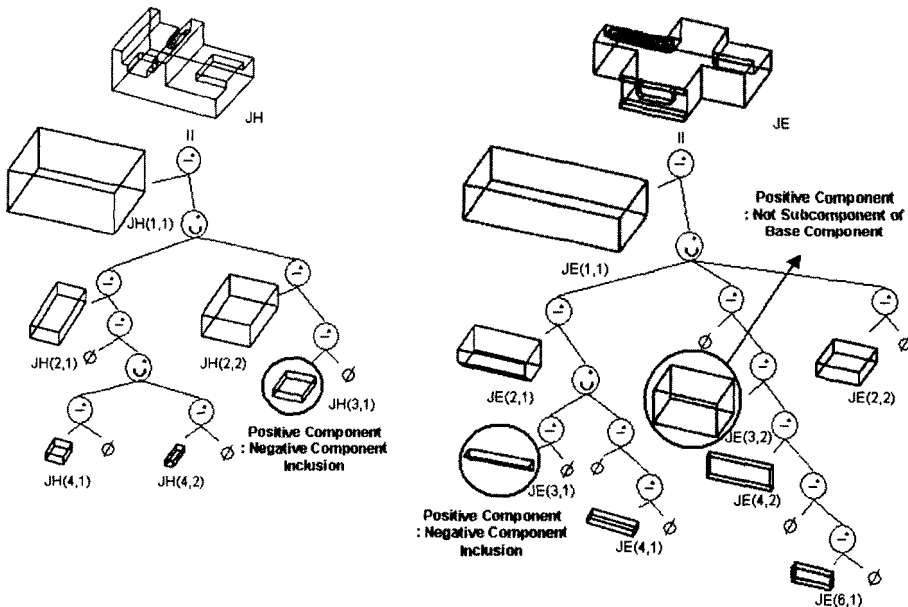


Fig. 7. Example of Positive Component Relation.

간의 유사성 비교시 유용하게 이용될 수 있다. FFD에서의 positive 요소의 유무는 부품의 형상에 있어 유사성을 달리한다. 이러한 특징은 Fig. 7에서 잘 나타나 있다. 부품 JH는 positive 요소 JH(3,1)을 가지고 있다. JH가 step 형상인 JH(2,2)를 가지고 있고, 이 step 안에 돌출부가 형성되어 있음을 알 수 있다. 이는 positive 요소의 유무가 형상에 있어 차이점을 반영할 수 있음을 보여준다. Positive 요소가 존재한다 하더라도 그 positive 요소가 다른 특징형상들과 형성하는 관계에 따라 차별할 수 있다. 그 예로, Fig. 7에서 부품 JH와 JF는 둘 다 positive 요소를 가지고 있다. 하지만, JH의 positive 요소 JH(3,1)는 바로 상위요소인 negative 요소 JH(2,2)에 포함되어 있는 반면, JE의 positive 요소 JE(3,2)는 바로 이를 포함하는 negative 요소를 상위요소로 갖지 않으며, depth 1 요소인 JE(1,1)에도 포함되지 않는다. 이는 부품 JH의 경우 단 하나의 base block으로부터 절삭가공에 의해 가공될 수 있는 부품인 반면, 부품 JE의 경우는 JE(1,1)과 JE(3,2)의 두 base block을 접합한 후 절삭가공을 통해 가공될 수 있는 부품이다.

따라서 부품 JH와 JE는 positive 요소 기준에 있어서 다른 성질을 갖고 있다고 할 수 있다. 다시 말해, 단순히 절삭 가공으로 만들어 질 수 있는 부품과 두 소재를 접합하고 가공하여 만들어 질 수 있는 부품들로 구분 지을 수 있는 것이다. 이렇듯, positive 요소의 존재 여부와 positive 요소가 갖고 있는 관계성에 따라 부품간의 형상 차이를 분명하게 보여줄 수 있다.

Positive 요소의 존재 유무와 관계에 따라 Fig. 8과 같이 15개의 부품들을 분류할 수 있다. 부품 JA, JB, JC, JF, JG, JJ, JK, JL 등은 positive 요소가 존재하

지 않는 경우이고, 부품 JH와 JI는 positive 요소가 존재하고 negative 요소에 포함되는 경우, 마지막으로 부품 JD, JE, JM, JN, JO 등은 positive 요소가 포함되지 않는 경우를 보여주고 있다.

이러한 특징은 작업 현장에서 작업자가 과연 해당 부품을 어떤 과정을 거쳐 가공할 것인가에 대한 의사결정에 있어 매우 중요한 정보를 제공하는 것이라 할 수 있다. 다시말해, FFD를 통해 분류된 그룹을 확인함으로써 작업자가 절삭 가공 및 공정을 수행할 때 의사결정을 하는데 도움을 줄 수 있으며, FFD를 통해 얻어진 결과를 통해 전체적인 공정 계획을 수립하는데 있어 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 이와 같이 FFD의 positive 요소의 존재 및 관계에 따라 생산 공정에 관련하여 부품간의 유사성을 비교 하는데 있어 유용하게 이용될 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서 제안하는 유사성 평가 기술은 convex decomposition에 의한 특징형상 인식기술의 장점을 활용하여 유사성을 평가한다. Convex decomposition으로부터 대략적인 가공 방향에 관련한 유사성을 파악할 수 있다. 또한 FFD를 통한 유사성 평가는 positive 요소의 유무 및 관계계를 통해 유사성을 파악할 수 있는 장점을 제공한다. Convex decomposition과 FFD를 통한 유사성 평가는 부품간의 개략적인 유사성을 판단하는 기술이다. 본 논문의 두번째 파트에서는 NFD를 이용하여 절삭가공 관련 구체적인 유사성 평가를 제시한다. 이렇듯 convex decomposition에 기반한 특징형상 인식기술을 통한 유사성 평가 기술은 가공 및

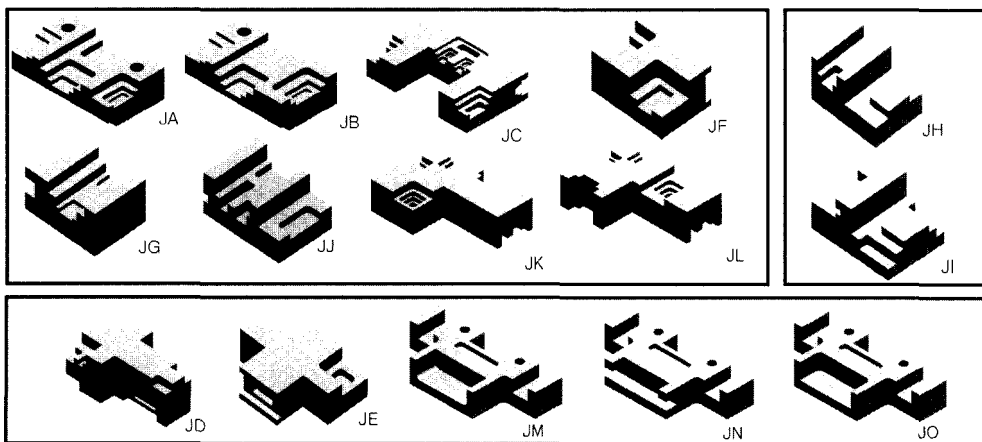


Fig. 8. Part Classification Using FFD.

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(MI-0104-00-0054)의 위탁 연구로서 지원을 받는 연구 결과임을 밝힌다.

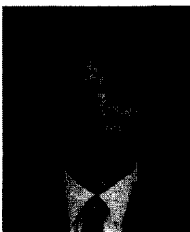
참고문헌

1. Chang, T.-C., Wysk, R. A. and Wang, H.-P., *Computer-Aided Manufacturing*, 2nd Ed., Prentice-Hall, 1998.
2. Opitz, H., *A Classification System to Describe Workpieces*, Paergamon Press, NY, 1970.
3. Agarwal, M., Kamrani, A. K. and Parsaei, H. R., "An Automated Coding and Classification System with Supporting Databases for Effective Design of Manufacturing Systems," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 5, No. 4, pp. 235-249, May 1994.
4. Kim, Y. S., *Convex Decomposition and Solid Geometric Modeling*, Ph. D. Thesis, Stanford University, 1990.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Pariente, F. and Kim, Y. S., "Incremental and Localized Update of Convex Decomposition Used for Form Feature Recognition," *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 8, pp. 589-602, Aug. 1996.
9. 김철영, 김영호, 강석호, "기계부품의 형상검색을 위한 유사성 평가 방법", 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제5권, 제2호, pp. 103-112, 2000.
10. Kim, Y. S., "Recognition of Form Features Using Convex Decomposition," *Computer-Aided Design*, Vol. 24, No. 3, pp. 461-476, Sept. 1992.
11. 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.



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 교수
 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 희

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