

☒ 응용논문

Case-Based Reasoning을 이용한
자동공정계획 시스템의 구축
- Development of A CAPP System Based on
Case-Based Reasoning -

이 홍 회*
Lee, Hong Hee
이 덕 만**
Lee, Duk Man

Abstract

The aim of this research is the development of a CAPP system which can use the old experience of process planning to generate a process plan for a new part and learn from its own experience using the concept of stratified case-based reasoning(CBR). A process plan is determined through the hierarchical process planning procedure that is based on the hierarchical feature structure of a part. Each part and case have their own multiple abstractions that are determined by the feature structure of the part. Retrieving the case in stratified case-based process planning is accomplished by retrieving the abstraction that is most similar to the input part abstraction in each abstraction level of the case-base. A new process plan is made by the adaptation that translates the old case's process plan into the process plan of a new part. Operations, machines and tools, setups and operation sequence in each setup are determined in the adaptation of abstraction using some algorithms and the reasoning based on knowledge-base. By saving a new part and its process plan as a case, the system can use this new case in the future to generate a process plan of a similar part. That is, the system can learn its own experience of process planning. A new case is stored by adding the new abstractions that are required to save as the new abstraction to the existing abstractions in the case-base.

1. 서론

공정계획(Process Planning)은 설계와 제조 활동을 성공적으로 통합시키는데 있어 중요한 역할을 한다. 최근 제품의 다품종 소량화로 인해 유연 생산 시스템이 강조되고 있고 이러한 추세는 빠르고 일관적이며 신뢰할 수 있는 공정계획 활동의 필요성을 더욱 증가시켰다. 또한 CAD/CAM 기술의 비약적인 발전으로 인해 설계 및 제조 활동은 매우 빠르고 효과적으로 수행되고 있으며 이러한 두 기능들의 통합에 필요한 공정계획 활동으로서 컴퓨터 원용 공정계획(CAPP : Computer Aided Process Planning)이 부각되었으며 많은 연구가 이루어져 왔다.

본 연구는 CAPP 시스템을 구축하는데 있어 계층적 사례기반 추론 (Stratified Case Based

* 인하대학교 산업공학과 교수 ** 인하대학교 산업공학과 대학원

+ 이 연구는 1996년도 인하대학교 연구비 지원에 의해 수행되었음.

Reasoning) 개념을 적용하는 방안을 제시한다. 인간이 새로운 문제를 해결하는데 있어 많은 지식과 경험을 사용하며 이 과정에서 새로운 경험을 학습하는 것처럼 사례기반 공정계획시스템은 공정계획을 생성하기 위해 다양한 정보 및 결정 논리(지식)와 기존 부품들 및 이에 대한 공정계획들을 이용하며 또한 새로운 공정계획을 미래에 이용할 수 있는 정보에 맞는 공정 계획으로 변화시키는 사례적응(adaptation) 기능을 포함해야 한다. 그러나 해결하고자 하는 문제와 결과가 복잡할수록 이러한 검색 및 적응과정은 매우 복잡해지고 상당한 CAPP 시스템이라 할 수 있다. 그러므로 이러한 시스템은 입력된 부품 정보와 유사한 경우의 사례를 선택할 수 있는 사례 검색 기능과 선택된 사례의 공정 계획을 입력된 부품 처리 시간을 요구한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법의 하나로 계층적 사례기반 추론이 제시되었다. 이는 복잡한 문제를 여러개의 계층(추상)으로 나누고 각각의 계층을 거치며 사례기반 추론을 적용하는 방식이다[6]. 공정 계획 역시 복잡한 부품 정보와 많은 제조 정보를 토대로 다양한 사항들을 결정하는 활동이다. 그러나 부품정보의 표현에 있어 계층적 형상구조를 이용한다면 공정 계획 절차를 계층적으로 표현할 수 있으며 이는 계층적 사례 기반 추론의 적용을 가능하게 한다.

2. 연구 배경

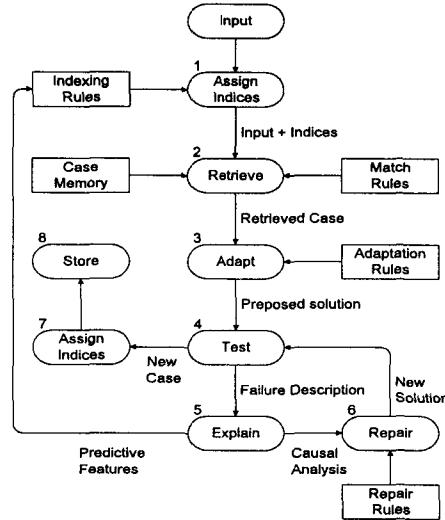
2.1 사례기반 추론 (Case-Based Reasoning : CBR)

사례기반 추론이란 새로운 문제를 해결하기 위해 기존에 해결된 문제와의 유사성을 이용하는 방법이라고 정의된다.[2] 즉 새로운 문제에 대해 이 문제와 유사한 기존의 문제(사례; case)를 찾아 기존 문제의 해 및 해결과정을 새로운 문제의 해 및 해결과정으로 변형하여 문제를 해결하는 인공지능의 한 개념이라 할 수 있다. 또 해결된 새로운 문제를 하나의 사례로 저장함으로써 미래에 이와 유사한 문제가 발생했을 경우 이를 이용하여 해결할 수 있기 때문에 학습(machine learning)이 가능하다. 기본적인 CBR 절차는 <그림 1>과 같다.[5] 해결하고자 하는 문제의 상황이 매우 복잡할 경우 유사한 상황의 사례를 찾고 또 사례의 해를 새로운 문제의 해로 전환시키는데는 상당한 시간 및 노력이 필요하다. 그러나 문제의 상황이 계층적으로 표현될 수 있는 계층적 문제해결 임무의 경우 문제의 상황을 계층에 따라 여러 개의 추상(abstraction) 단계들로 나누어 각 단계를 거치면서 CBR을 적용 할 수 있다. 이와 같이 계층화된 추상 단계를 사용하는 계층적 사례기반 추론(Stratified CBR)은 복잡한 문제의 해결에 매우 효과적이다.

2.2 CAPP 와 CBR

공정 계획이란 원재료를 설계의도에 부합되는 최종 부품으로 전환시키는데 필요한 작업들 및 각 작업들에 대한 세부적인 사항들을 결정하는 활동이라고 정의되며[10] 컴퓨터를 이용하여 공정 계획을 더욱 빠르고 정확하게 처리하고자 CAPP에 대한 많은 연구가 이루어져왔다.

부품과 그것에 대한 공정계획은 하나의 사례가 될 수 있다. 새로운 부품의 공정계획을 위해 이와 유사한 부품을 선택하고 선택된 부품의 공정계획을 새로운 부품의 공정계획으로 전환시킬 수 있다. CBR적 접근의 경우 부품 정보는 창성형 공정계획 시스템과 같은 형태의 정보이다. 그러므로 창성형 공정계획 시스템의 공정계획 수립 방법과 CBR적 문제 해결 방법을 함께 사용함으로써 과거의 공정계획 경험을 이용할 수 있는 시스템 구축이 가능하다. 그러나 이 경우 창성형 공정계획에서 요구하는 복잡하고 방대한 양의 정보와 지식은 요구되지 않는다. 대신 과거의 경험이 이를 대신할 수 있다. 이처럼 CBR적 접근 방법은 변성형 접근 방법과 창성형 접근 방법의 중간적인 위치에 있으며 새로운 부품의 공정계획을 저장함으로써 학습 가능한 공정계획 시스템의 구축이 더욱 간편해진다. 그러므로 CBR적 접근 방법과 지식 기반 접근 방법을 함께 사용하여 더욱더 효과적이고 지능적인 공정계획 시스템을 구축할 수 있다.



<그림 1 : 사례 기반 추론 절차>

최근 들어 공정계획 과정에 CBR 개념을 적용하고자 하는 노력이 시도되고 있다. 지금까지의 CBR적 접근 방법을 살펴보면 주로 형상위주로 CBR이 적용되어 왔다.[Marefat & Britanik, 1996] 즉 부품을 구성하는 여러 가지 형상들에 대한 공정계획들을 하나의 사례로 만들어 놓고 새로운 부품을 구성하는 개개의 형상들에 대해서 각각의 형상과 유사한 형상 사례를 찾고 이를 그 형상들에 대한 공정계획으로 전환한 후 각각의 형상들에 대한 공정계획들을 하나의 순서를 이루는 공정계획으로 결합하는 것이다. 이는 부품 전체에 대한 공정계획 경험을 이용하는 것이 아닌 단지 형상에 대한 공정계획 경험을 이용하는 것이다.

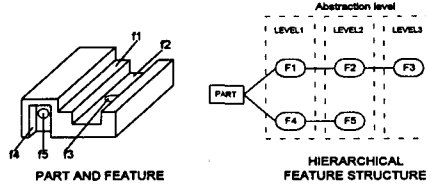
3 사례 및 지식 표현

3.1 부품 정보 표현(Part representation)

부품 정보는 형상 기반 표현 방식으로 프레임 형태의 기호적 표현 방법을 사용한다. 본 연구에서 다음과 같은 기본적인 형태의 형상만을 고려하였다: SLOT(Through and Blind Slot), STEP(Through and Blind Step), PLANE SURFACE(SLAB), POCKET, HOLE(Through and blind Hole). 부품 특성에는 부품 번호, 부품명, 재료, 초기 재료의 크기를 사용하였으며 형상 특성으로는 형상의 형태(feature type), 이름, 크기(길이, 폭, 높이)와 치수 공차(길이, 폭, 높이), 치수별 축방향, 표면 거칠기, tool-EAD(x1, x2, y1, y2, z1, z2), 부모 형상(parent feature)을 사용하였다. 어떤 형상의 부모 형상이란 그 형상을 포함하고 있는 형상을 나타내는 것으로 형상들의 포함 관계를 나타내는 특성이다. 형상들 사이의 관계를 표현하는 관계는 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 포함관계만을 표현하였다.

3.2 계층적 형상구조와 추상

형상들의 포함관계를 살펴보면 전체부품은 하나의 나무모양의 형상 구조로 이루어지며 이를 계층적 형상 구조라 한다. 이러한 형상구조는 형상의 가공상의 우선순위를 결정하는 데 매우 중요한 의미를 가진다. 즉 한 형상에 포함되는 다른 형상들은 그 형상이 형성되기 전에는 가공될 수 없다. 시스템의 계층적 CBR 과정에서 이용되는 부품 정보 및 사례의 추상(abstraction)들은 이러한 계층적 형상구조(<그림 2>)를 바탕으로 결정하였다.



<그림 2 부품의 계층적 형상 구조 및 추상>

그이유는 다음과 같다.

- 1) 계층적 형상구조는 부품의 공정계획과정에서 계층적 문제 해결 방법을 제공할 수 있으며 그로 인해 계층적 CBR을 적용할 수 있다. 즉 상위 계층의 형상들에 대한 공정계획은 하위 계층의 형상들에 대한 공정계획을 수립하는 과정에 중요한 제약이 된다.
- 2) 계층적 형상구조에 따른 추상화 방법은 보통 인간의 인지과정과 유사하다. 즉, 사람이 어떤 부품을 볼 경우 우선 최외각에 있는 상위 계층의 형상들을 우선적으로 보게 된다. 이는 부품의 일반적인 특징이 상위 계층의 형상들에 의해 나타나기 때문이다. 즉 대략적인 부품의 형태, 크기, 가공 정도 등은 최외각 형상들에 의해 특징 지어진다.
- 3) 계층적 형상구조는 부품들의 사례에 대한 저장 및 검색, 적용을 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 한다.

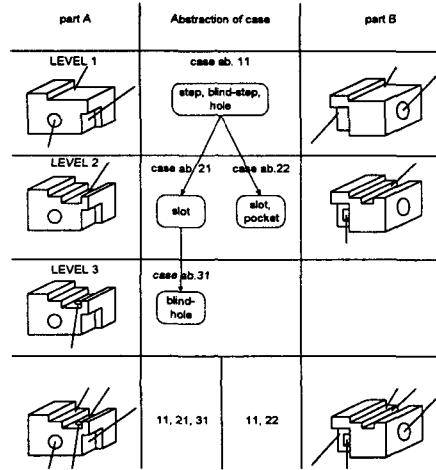
3.3 사례 표현(Case representation)

3.3.1 사례의 구성요소(Component of Case)

일반적인 사례는 과거 문제의 상황과 문제 해결의 목적, 그리고 문제에 대한 해로 구성된다. 본 연구에서는 사례는 부품 정보와 그에 대한 공정계획으로 구성된다. 부품정보는 앞에서 살펴본 부품 정보와 같은 형식으로 표현되며 공정계획은 필요한 셋업, 셋업에 포함되는 형상, 형상의 가공에 필요한 가공 작업, 각 작업에 사용되는 기계와 공구 그리고 셋업 순서 및 각 셋업 내의 가공작업들의 순서로 표현된다. 그리고 각 사례는 부품의 계층적 형상 구조에 따라 여러 개의 추상단계로 나누어진다.

3.3.2 사례의 추상 단계(Abstraction levels of Case)

각 추상들은 하나의 부모 추상을 가진다. 그러나 여러 사례 추상들이 같은 부모 추상을 공유할 수 있다. 이것은 여러 사례들이 부모추상 단계까지 매우 유사한 상위계층으로 표현되기 때문에 이 단계까지의 공정계획 역시 매우 유사하다고 볼 수 있기 때문이다. 그러므로 유사한 계층을 일일이 저장하지 않고 공유함으로써 저장용량의 효율성을 기대할 수 있다. 또 유사한 단계까지는 같은 추상단계를 검색하고 차이가 발생하는 단계에서 분지 되는 자식 추상의 하위 추상들만 검색하기 때문에 처음부터 모든 사례들의 모든 추상단계들을 일일이 검색하지 않아도 되므로 검색과정이 빨리 이루어진다. <그림 3>은 부품의 여러 추상 단계와 이들이 첫 번째 단계까지는 동일한 추상을 가지고 있고(같은 공정계획을 가진다는 가정 하에서) 그 이후 단계부터는 추상이 달라짐을 보여준다. 그러므로 두 부품을 사례로 저장할 경우 각 부품의 모든 추상단계를 저장하는 것이 아니라 같은 추상단계까지는 같은 추상으로 저장하고 달라지는 추상 단계부터 따로 추상을 저장한다. 그리고 입력 부품과 유사한 사례 부품의 선택과정은 이러한 추상구조를 단계별로 검색해 나가면서 마지막 단계에 선택되는 추상을 포함하는 부품이 최종적으로 선택되는 부품이 된다.

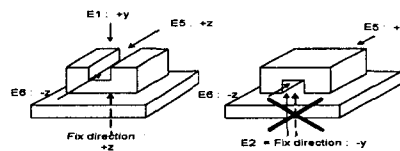


<그림3 부품 추상단계와 사례베이스 구조>

3.4 공정 관련 지식 및 지식 표현

3.4.1 공정 관련 지식(Process Knowledge)

공정계획을 수립하기 위해서는 여러 가지 공정관련 지식이 필요하다. 공정 지식에는 각각의 가공 공정, 형상 특성에 관련된 지식, 형상특성과 가공 공정과의 관계, 기계, 공구, 셋업에 관한 지식 등이 있다. 본 연구에서는 여러종류의 밀링, 드릴링, 보링, 리밍, 그라인딩, 그리고 호닝과 같은 공정들과 자동화된 수평형 밀링머신, 수직형 밀링머신, 연삭기, 그리고 호닝머신과 같은 기계들이 사용되었다. 위의 공정 이외의 공정들은 사용자 입력이나 사례 베이스 구성 중 포함될 수 있으며 사례적응 과정을 통해 결정된다. 가공은 각 형상별로 이루어지므로 될 수 있으면 같은 셋업에서 많은 수의 형상을 가공하도록 계획해야 한다. 같은 셋업상에서 가공될 형상의 그룹을 결정하는 것은 주로 형상의 외부 공구 접근 가능방향(Tool-EAD)이다. 이 밖에 많은 요소가 영향을 줄 수 있지만 본 연구에서는 Tool-EAD만을 고려하였다. 형상은 Tool-EAD와 위치 셋업 면과의 위치관계를 고려하여 셋업에 배정될 수 있다. 그러나 본 연구에서는 단순히 Tool-EAD만을 고려하였으며 그로 인해 다음과 같은 제한을 가정하였다. 즉, 셋업의 고정 방향과 일치하는 Tool-EAD를 가지는 형상은 그 셋업에서 가공할 수 없다. 형상의 Tool-EAD는 부모 형상의 Tool-EAD의 범주 내에 있게된다. 그러므로 형상은 부모 형상이 가공된 셋업상에서 가공 가능하다. 그러나 가공의 특수성으로 인해 형상에 대한 모든 작업이 부모 형상이 속한 셋업에서 가공 가능한 것은 아니다.



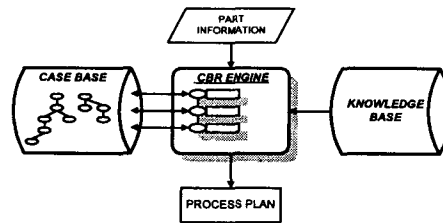
<그림4 가능 고정방향과 Tool EAD의 관계>

위와 같은 지식들은 사례 적용 과정에서 공정계획을 생성하는데 필요로 하는 지식이다. 이러한 지식을 사례 적용 과정에 이용하기 위해 지식 베이스를 구축하였다. 지식베이스에는 형상의 특성과 공정, 기계, 공구, 그리고 이들간의 관계를 나타내기 위해 프레임을 이용하였고 이것들의 관계 및, 특성을 이용하여 개별 형상에 대한 작업들 및 작업들의 순서, 기계 와 공구를 선택 하는 절차적 지식은 규칙들을 이용하였다.

4. Stratified Case-Based CAPP system (계층적 사례 기반 CAPP 시스템)

4.1 시스템 구성 및 사례 기반 공정계획 결정 과정

전체 시스템은 사례 베이스, CBR 엔진, 지식 베이스로 구축된다.



<그림 5 : 시스템 구조>

사례 베이스에는 기존의 사례들의 추상들을 나무구조로 저장한다. 이는 앞장에서 살펴본 추상단계의 계층적 의미를 저장의 효율성 및 검색의 편리성에 이용하고자 함이다. CBR 엔진은 새로운 부품정보를 입력받아 이를 여러 개의 추상단계로 나누고 각 단계별로 사례베이스의 추상들과 비교 검색하고, 사례 적용과정을 거치면서 최종 단계의 추상단계에서 새로운 부품에 대한 완전한 공정계획을 생성한다. 이 과정에서 새로운 부품의 공정계획이 기존의 사례 베이스의 사례들과 시스템 내의 지식베이스를 가지고도 해결될 수 없을 경우 사용자에게 해를 입력받아 그 단계부터의 추상단계들을 이전단계의 추상과 일치되는 사례베이스의 추상에 새로이 추가시킨다. 지식베이스는 적용과정에 필요한 지식을 포함하며 CBR 엔진이 지식을 필요로 하는 결정과정을 수행해야 할 경우 CBR 엔진으로부터 받은 정보를 이용하여 추론과정을 거친 후 추론 결과를 CBR 추론기구에 제공한다.

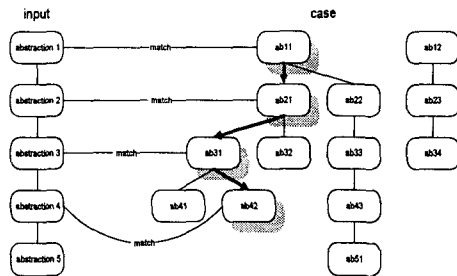
앞에서 제시한 시스템의 기본적 구조를 바탕으로 한 계층적 사례 기반 공정계획 절차는 다음과 같으며 <그림 7>은 전체적 흐름을 보여주는 흐름도이다.

1. 부품 정보를 입력받는다.
2. 부품 정보를 부품의 계층적 형상 구조에 따라 여러 개의 추상들로 나눈다.
3. 각 단계의 추상들에 대해 CBR 과정을 이용하여 공정계획을 생성한다.
 - 1) 사례 베이스에서 가장 유사한 추상을 찾는다.
 - 2) 선택된 추상의 공정계획을 입력 추상의 공정계획으로 전환
 - 3) 생성된 공정계획 중 사용자 입력을 받은 것이 있을 경우 이를 사례 베이스에 저장
4. 마지막 단계의 추상에 대한 공정계획이 완료되면 이를 출력한다.

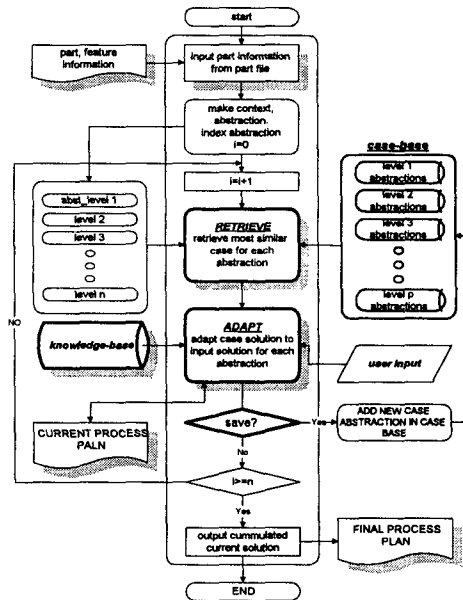
4.2 사례 검색

4.2.1 사례 베이스 구조(CASE-BASE STRUCTURE)

앞에서 제시했듯이 부품 및 사례는 여러 개의 추상단계로 나뉜다. 사례 베이스내의 추상들은 여러 부품에 포함될 수 있다. <그림 8>에서 보듯이 ab11은 사례 베이스의 1단계의 한 추상이다. 그러나 이것은 부품의 최 상위 계층의 추상이므로 이와 같은 최 상위 추상을 가지는 부품의 추상을 나타낼 수도 있다. 각 단계를 거치면서 여러 개의 추상들로 분지 되는데 이것은 단계가 깊어질수록 부품의 특징이 더 다양해지기 때문이다. 결국 하나의 완전한 사례는 1계층부터 시작하여 더 이상의 지식 추상이 없는 단계까지의 추상들의 누적으로 표현된다. 예로 그림에서 굵은 선으로 연결된 추상들이 모여 하나의 완전한 사례를 구성하는 것이다. 즉 ab11-ab21-ab31-ab42의 추상들이 모여 하나의 사례를 구성한다.



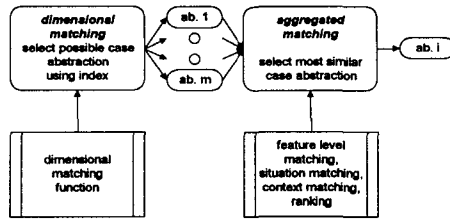
<그림 6 : 사례 베이스 구조 및 추상간의 검색 과정>



<그림 7 : 사례 기반 공정계획 시스템 모델>

4.2.2. 검색 과정(Retrieve architecture)

검색과정은 크게 두 단계로 나뉜다. 첫 번째로 입력추상의 인덱스와 사례 추상들의 인덱스를 비교하여 유사성이 높은 추상들을 몇 개 선정하는 특징 비교단계와 특징 비교 단계에 의해 선택된 추상들에 대해서 세부적으로 유사성을 비교하여 그중 입력 추상과 가장 유사한 추상을 선택하는 종합 비교단계이다. 특징 비교 과정은 앞에서 설명한 추상내의 형상들의 종류에 의해 결정된 인덱스를 비교하여 같은 형상들을 많이 포함하고 있는 추상들을 선택한다. 이 때 특징 비교 과정에서 비교되는 추상들은 이전 단계에서 선택된 추상의 지식 추상에 대해서만 행한다.



<그림 8 추상 단계 내에서의 검색 절차>

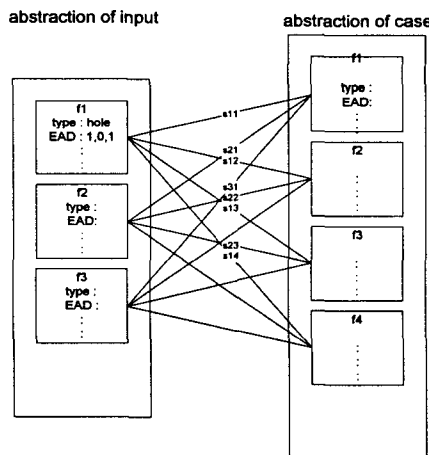
4.2.3. 종합 비교(Aggregated matching)

부품은 여러 개의 형상들과 그들간의 복잡한 관계로 이루어진다. 이러한 부품의 유사성을 판단하는 방법은 기존의 GT코드를 이용하는 정도였다. 또한 신경망 이론을 이용하여 부품의 형태적인 특징은 비교할 수 있지만 이는 복잡한 형상 및 형상 관계를 해석할 정도의 수준에 이르지 못하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 계층적인 구조로 추상을 나누고 개개의 추상을 비교하여 유사한 부품을 찾아내는 방법을 제시하고자 한다. 앞에서 이미 설명했듯이 유사한 부품은 일단 유사한 추상단계를 가진다. 그렇다면 이제 이 유사한 추상단계를 비교하는 방법에 대해 알아보자. 추상의 유사성 비교 과정은 수치적 순위 결정 기법을 기반으로 한다. 추상은 형상구조의 한 계층에 포함되는 형상들로 이루어진다. 그리고 이 형상들은 개별적인 특성을 가지고 있으며 또한 다른 형상들과 특정한 관계를 이룬다. 추상 내에 속한 형상들의 이러한 특성들을 이용하여 추상들의 유사성을 결정하고자 한다. 그러나 우리가 사례를 통해 얻고자 하는 것은 공정계획이므로 형상들의 특성으로 인해 결정되는 공정계획의 유사성에 더욱 초점을 맞추어야 할 것이다. 종합 비교 과정은 다음과 같은 단계를 거친다.

- 1) 입력 추상과 사례 추상내의 개개의 형상들에 대한 유사성 비교 및 유사성 척도 계산
- 2) 개개의 형상들에 대한 유사성 척도를 이용하여 추상전체의 유사성 척도 계산
- 3) 총 유사성 척도를 이용하여 추상들의 유사성 순위를 결정하고 가장 유사한 추상을 선택

4.2.4 개별 형상간의 유사성 척도

입력 추상의 개별 형상들과 사례 추상의 개별 형상들을 일대일로 비교하여 두 형상간의 유



<그림 9 : 추상내의 개별형상 비교>

사성 척도를 계산할 수 있다. 개별 형상의 특성들은 모든 형상에 대해 동일하므로 각 특성별로 특성치를 비교하여 특성별 차이 값을 산정하고 여기에 특성에 대한 가중치를 곱한다. 모든 특성에 대해 이를 구한 후 합산하는 방법으로 유사성 척도를 구하고자 한다. 모든 입력 형상에 대해 모든 사례형상들을 비교한다.

각 특성에 대한 차이값과 가중치를 결정하는 정확한 방법은 없다. 그러나 각 특성이 특성치에서 또 그 특성치의 변화로 인한 공정계획상의 변화 정도는 절대적이지는 않지만 상대적으로나마 파악할 수 있다. 그러므로 이러한 변화정도를 고려하여 차이값을 정할 수가 있다. 또 각 특성의 변화에 따라 공정계획상의 변화 정도에 따라 각 특성에 대한 가중치를 구할 수 있다. 이는 앞으로 더욱 많은 연구가 이루어져야 한다고 본다. 본 연구에서는 다음의 속성들에 대해서로 개별 특성의 차이를 정한다: 형상 형태의 차이 (d_f), 표면 거칠기의 차이(d_{sf}), Tool-EAD상의 차이(d_{EAD}), 부모 형상의 차이 (d_p), 형상의 크기상의 차이(d_s), 치수 공차에 대한 차이(d_t), 형상간 유사성 척도(s_{ij}), 추상간의 유사성 척도 (TSM)

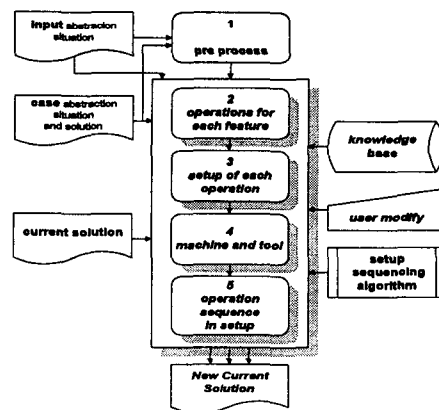
4.3 사례 추상의 적응(Adaptation of case abstraction)

4.3.1 사례 적응 절차

현 단계의 입력 추상에 대한 공정계획을 작성하기 위해 검색 단계에서 선택된 사례 추상의 공정계획을 이용한다. 이러한 과정을 사례의 적응이라 하자. 이는 사례의 공정계획을 새로운 입력 추상에 알맞은 공정계획으로 전환시키는 과정이며, 새로운 부품에 대한 공정계획이 실질적으로 작성되는 과정이라 할 수 있다. 기본적인 적응 절차는 다음과 같다.

- ① 통합 비교 과정에서 사용했던 방법으로 각각의 입력 형상들에 대응되는 사례 형상들을 찾고 필요한 정보를 사례 추상의 공정계획에서 입력받는다.
- ② 각 형상에 대해 필요한 가공 작업들을 선택한다.
- ③ 선택된 가공 작업들에 대한 셋업을 결정한다.
- ④ 셋업이 결정된 작업들에 대한 기계 및 공구를 결정한다.
- ⑤ 셋업, 가공 기계 및 공구가 결정된 작업들에 대해 셋업상의 작업순서를 결정한다.

사용할 수 있는 사례가 없을 경우 위의 적응 과정중 해결 가능한 사항은 지식 베이스 및 알고리즘을 이용하여 해결하며 해결 불가능한 사항은 사용자 입력을 통하여 해결된다. 그리고 이



<그림 10 : 사례 적응 절차>

를 새로운 사례로 저장하게 된다.

4.3.2 준비 단계

현 단계에서 사용 가능한 사례 추상이 존재할 경우 이 사례 추상으로부터 공정계획 결정에 필요한 정보를 입력받는 과정이다. 이러한 정보로부터 적용 과정에 필요한 사항을 결정하게 된다. 우선 사례 추상내의 형상들에 대한 정보를 받고 이로부터 현재의 입력 추상내의 형상들과 대응되는 형상들을 찾는다. 이것은 앞 절의 종합 비교과정에서 사용한 방법과 동일하게 이루어진다. 그후 대응되는 형상들의 가공 작업에 대한 정보를 입력받게 된다. 또한 현 단계의 사례 추상에서 새로 생성된 셋업이 있으면 이에 관한 정보(고정 방향, 고정 방법)를 입력 받게 된다. 그러나 이러한 셋업은 실제 입력 추상의 단계에서는 아직 사용되지 않는다. 만일 사용 가능한 사례 추상이 없는 경우 이 과정을 거치지 않는다.

4.3.3 가공 작업 선택

하나의 형상은 여러 개의 가공 작업을 거쳐 완성된다. 이러한 가공 작업들을 결정하기 위해서는 형상의 여러 가지 개별 특성을 고려하여야 한다. 형상의 특성을 고려한 필요 작업 선택은 지식 베이스에 의해 수행된다. 그러므로 지식베이스는 각각의 형상 및 가공 작업들에 대한 선연적 지식과 이를 이용한 작업 선택절차를 표현하는 절차적 지식을 포함해야 한다. 또한 대응되는 사례 형상이 있을 경우 이 형상과의 특성상의 차이점을 파악하여 사례 형상의 작업들중 어떤 것을 변화시키거나, 그대로 사용 할 지 또는 어떤 작업을 추가하거나 제거해야 할지를 판단하고 이를 수행하는데 필요한 지식도 포함되어야 한다.

4.3.4 가공 작업에 대한 셋업 결정

형상에 대한 작업들이 결정되면 각 작업에 대한 셋업을 결정한다. 앞서서도 보았듯이 사례 추상이 있는 경우 만일 그 단계에서 새로 생성된 셋업이 있을 경우 일단 이를 입력받았지만 이를 아직 사용하지는 않았다. 또한 현 단계까지의 셋업 정보는 각 단계를 거치면서 입력된 셋업들일 것이다. 그러나 이 모든 셋업들이 사용되는 것은 아니다. 이중 현재의 입력 부품에 필요한 셋업들만을 사용한다.

4.3.5 작업에 필요한 기계 및 공구의 결정

가공 작업에 대한 셋업이 결정되면 각 작업에 필요한 기계 및 공구를 지식 베이스를 이용하여 결정한다. 셋업의 고정 방향과 가공 형상의 Tool-EAD, 및 가공 작업의 종류를 고려하여 기계가 결정되고, 그후 가공 작업의 종류 및 선택된 기계, 가공 형상의 크기 등을 고려하여 공구가 결정된다. 이러한 과정은 지식베이스를 통하여 이루어질 수 있다. 그러므로 지식 베이스에는 각종 가공 기계 및 공구에 대한 지식과 셋업의 고정방향과 연관된 기계의 선택절차와 기계 및 가공 작업, 형상의 크기와 관계된 공구의 선택 절차가 포함되어야 한다.

4.3.6 셋업 내에서의 작업 순서 결정

모든 작업에 대한 셋업이 결정되면 셋업상에는 여러 개의 작업이 존재하게 된다. 또 작업들에 대한 기계 및 공구가 선정되면 이를 토대로 각 셋업상의 가공 작업들의 순서를 결정해야 한다. 작업 순서는 작업 선후관계를 해치지 않는 범위에서 될 수 있으면 기계의 변화가 적은 방향으로 이루어져야 하며 또한 같은 기계 상에서는 공구의 변화 횟수를 줄이는 방향으로 작업 순서가 결정되어야 한다. 한 단계에서의 작업 순서 결정은 이전 단계까지 결정된 작업 순서에 현 단계에서 생성된 새로운 작업들을 삽입시킴으로써 이루어진다. 한 형상에 대한 작업들의 순서는 형상에 대한 작업 선택과정에서 주어진다. 또한 형상간의 작업 순서는 부모 형상의 초기가공에만 영향을 받는다고 가정하였으므로 각 작업들에 대한 선후행관계는 주어진 상태이다.

4.4 사례의 학습

앞에서 제시한 방법들에 의해 새로운 부품에 대한 추상 단계별 공정계획 및 전체 공정계획이 수립된다. 각 단계별 공정계획 결정에 있어 시스템이 기존의 사례만을 가지고 해결할 수 없었던 사항은 사용자를 통해 해결되었다. 그러므로 이러한 것을 새로운 사례로 저장한다면 미래에 이와 유사한 부품이 입력될 경우 새로 저장된 사례를 이용하여 해결함으로써 현재 사용자가 해결했던 사항을 시스템이 알아서 해결할 수 있도록 할 수 있다. 즉 사례의 저장을 통해 새로운 경험을 학습할 수 있다. 그렇다면 어떤 단계의 추상들부터 새로운 사례로 저장해야 할 것인가? 이는 새로운 사례로 저장해야 할 의미를 부여하는 추상단계부터일 것이다. 또한 지금 사용한 사례의 최종 추상 단계보다 더 깊은 추상단계들이 있을 경우 이러한 것도 저장되어야 한다.

5. 시스템 프로그램 및 실행 예

5.1 시스템 프로그래밍

앞에서 다룬 시스템을 구축하기 위해 C언어와 NEXPERT Object를 사용하여 프로그램을 작성하였다. CBR 절차는 C언어로 코딩하였으며 적용 과정에 사용되는 지식베이스는 작업 선택 지식 베이스와 기계 및 공구 선택 지식베이스로 구성되며 이는 NEXPERT Object를 사용하였다.

5.1.1 입력 정보 및 사례 베이스

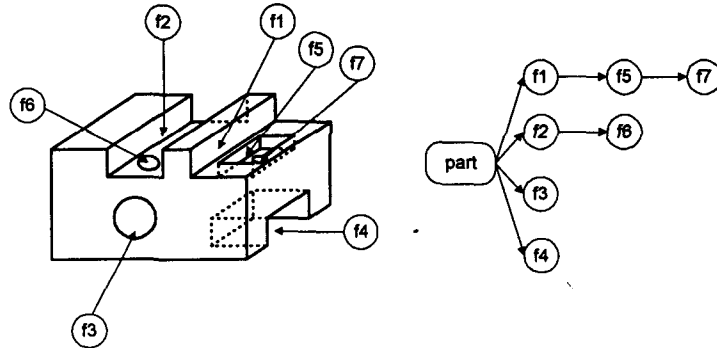
부품의 입력 정보는 부품에 대한 사항과 부품을 구성하는 여러 형상들과 형상들의 개별 특성을 받는다. 하나의 부품과 그에 대한 입력 정보는 다음 <그림 11>과 같은 형식으로 구성된 파일로 입력된다. <그림 11>에서 형상은 모두 세 개의 추상 단계로 나뉜다. 추상단계 1은 형상 f_1 , f_2 , f_3 , f_4 로 구성되며 추상단계 2는 f_5 , f_6 로 구성되고 마지막 단계는 f_7 하나만으로 이루어진다.

위에서 예로 보여준 부품이 만일 사례로 저장된다면 각 추상단계마다 인덱스를 부여하고 이에 대한 추상을 구성하는 형상 및 형상들의 개별 특성, 현재의 추상단계에서의 공정계획으로 사례의 추상이 표현될 것이다. <그림 12>는 추상 단계 2를 표현한 예이다.

<그림 12>에서 각 형상의 작업 번호는 이전 단계의 추상에서 결정된 작업들의 작업 번호의 연속이며 셋업은 이전 단계에서 결정된 셋업이다. 그러므로 현 추상의 모든 형상들이 이전 단계의 셋업에서 가공 가능하다면 새로운 셋업을 구성할 필요가 없다. 이러한 사례 추상들은 위에서 제시한 방법으로 서로 연관되어 있으며 이러한 관계는 각 단계별 인덱스 파일에 저장된다. 인덱스 파일은 그 단계에 포함된 모든 추상들의 정보(부모 추상, 인덱스, 추상 이름)를 포함한다. 그러므로 검색과정에서 이러한 인덱스 파일의 정보를 이용하여 비교 대상을 찾는다.

5.1.2 지식 베이스

사례 적용과정에서 각 형상의 가공 작업 및 기계, 공구의 설정은 지식베이스를 통하여 이루어진다. 그러므로 지식베이스에는 입력 형상과 사례 형상의 특성을 비교하여 입력 형상의 가공 작업으로 사례 형상의 가공 작업중 사용 할 수 있는 것이 있으면 이를 선택하고 그렇지 못한 경우 간단한 추론과정을 거쳐 가능한 가공 작업들 선택한다. 이 때 지식베이스가 요구하는 정보는 각 형상의 특성 및 사례 형상의 특성과 가공 작업들이다. 또한 사례가 없을 경우 입력 형상의 특성만 가지고 필요한 작업을 선택하게 된다. 사례 적용 과정에서 CBR엔진은 현재 고려



part_name	part_ID	size	material
EXAMPLE_P1	101	150 100 100	steel
feature			
f1	step	part	0.1 0.025 0.025 0.0025 100 y 40 x 20 z 1 0 1 1 1 0
f2	slot	part	0.1 0.025 0.025 0.025 100 y 40 x 20 z 0 0 1 1 1 0
f3	thr_hole	part	0.4 - 0.005 0.005 - - 35 - 100 y 0 0 1 1 0 0
f4	blind_slot	part	12.5 0.05 0.05 0.05 50 y 40 x 20 z 1 0 0 0 0 1
f5	pocket	f1	12.5 0.05 0.05 0.05 40 y 30 x 10 z 0 0 0 0 1 0
f6	hole	f2	0.8 - 0.025 0.025 - - 15 - 10 z 0 0 0 0 1 0
f7	hole	f5	0.8 - 0.025 0.025 - - 6 - 20 z 0 0 0 0 1 0

< 그림 11 : 부품 및 형상 구조와 입력 정보 >

```

C25.abs          C15.abs          NONE
(현재 추상의 파일 이름)      (부모 추상의 파일 이름)      ( source file name)
<SITUATION> 2 (구성 형상의 수)
f5 pocket f1 12.5 0.05 0.05 0.05 40 y 30 x 10 z 0 0 0 0 1 0
f6 hole f2 0.8 - 0.025 0.025 0.025 - - 15 - 10 z 0 0 0 0 1 0
<SETUP> 0
(현재 단계에서 새로 셋업된 셋업이 없다. 새로운 셋업이 있을 경우 다음과 같은 양식으로 표시한다.)
setup_n      setup index      fix direction      fix method
<OPERATION> 5 (현재 단계에서 생성된 가공 작업의 수)
f5 o12 setup1 end_milling 1 vertical_M/C end_mill
f5 o13 setup1 finish_end_milling 2 vertical_M/C end_mill
f6 o14 setup1 drilling 1 vertical_M/C twist_drill
f6 o15 setup1 boring 2 vertical_M/C boring_bite
f6 o16 setup1 honing 3 honing_machine hone
    
```

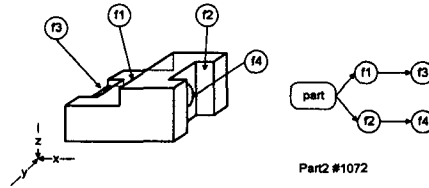
< 그림 12 : 사례 추상의 예 >

중인 형상과 이에 대응하는 형상에 대한 정보를 지식베이스에 전달한다. 이 경우 각각의 형상들에 대한 정보를 가지고 해당 규칙 및 그들의 관계를 들 이용하여 추론이 행하여진다. CBR 엔진으로부터의 입력이 끝나면 형상의 특성들이 알려지고 이를 가지고 추론을 행하면서 다른 정보들이 값을 갖게 된다. 추론 과정이 끝나면 형상에 대한 작업 수준 및 가공 작업이 결정되며 이는 다시 CBR 엔진으로 출력된다. CBR 엔진과 지식베이스 사이의 정보 전달은 NEXPERT Object가 제공하는 인터페이스 방법을 사용하였다.

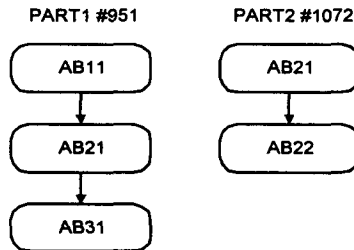
5.2 실행 예

5.2.1 현재의 사례 베이스 구조

현재의 사례 베이스에 <그림 11>의 부품과 다음 <그림 13>의 부품이 추상 별로 저장되어 있으며 사례 베이스의 구조는 <그림 14>와 같다.



<그림 13 : 사례 부품 2>

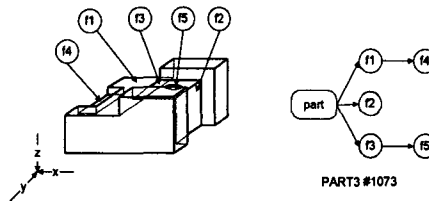


<그림 14 현재의 사례 베이스>

사례 부품들의 자세한 부품 정보와 추상 정보는 부록을 참조하고 간략한 공정계획을 알아보도록 하자. 부품 1의 가공 셋업 및 형상의 가공 순서는 [setup 1 : f4→f3], [setup 2 ; f1→f2→f7→f6→f5]이며 셋업 1의 고정 방향은 4(-y)이며 셋업 2의 고정 방향은 6(-z)이다. 부품 2의 가공 셋업 및 형상의 가공 순서는 [setup 1 : f2→f4], [setup 2 ; f1→f3]이며 셋업 1의 고정 방향은 2(-x)이고 셋업 2의 고정 방향 6(-z)이다.

5.2.2 새로운 입력 부품

새로운 입력 부품과 부품 정보는 다음과 같다.



part_name	part_ID	size	material
PART3	1073	150 100 80	steel
feature			
f1 step	part 0.1	0.025 0.025 0.0025	11 y 5 x 3 z 0 1 1 1 1 0
f2 slot	part 0.8	0.025 0.025 0.005	8 z 5 y 1 z x 1 0 0 0 1 1
f3 slot	part 1.0	0.025 0.025 0.025	5 x 5 y 1 z 1 1 0 0 1 0
f4 blind_slot	f1 1.8	0.1 0.1 0.1	5 y 2 x 1 z 0 1 0 0 1 0
f5 hole	f3 2.5	- 0.05 0.025	- 3 x 5 z 0 0 0 0 1 0

<그림 15 입력부품 및 형상구조와 입력정보>

5.2.3 추상 단계별 유사성 척도와 사례 적용

<그림 15>의 부품3은 2개의 추상 단계를 가진다. 단계 1에서는 부품 1, 2 모두 비교되지만 단계 2에서는 부품 2의 두번째 추상 단계만을 비교한다. 앞에서 보았듯이 본 연구에서는 추상을 비교하기 위해 추상내의 각 형상들에 대한 특성을 비교한다. 이 때 사용되는 특성별 가중치는 검색 결과에 상당한 영향을 미친다. 그러나 지금까지 이러한 특성별 가중치에 대한 연구가 없었기 때문에 본 연구에서는 특성의 변화로 인해 변화될 수 있는 공정 계획 사항의 수로써 대략적인 가중치를 결정하였다. 이에 대해서는 앞으로 계속적인 연구가 필요하다고 본다. 다음은 이 예에 대해 몇 가지의 가중치를 가지고 유사성 척도를 비교한 것이다.

	W_1		W_2		W_3	
PART 1	3.80		3.75		3.06	
PART 2	1.09	0.54	1.14	0.46	1.08	0.42

<표 1 : 가중치별 유사성 척도>

결과적으로 부품 2가 선택되었다.

5.2.4 실행 결과

<그림 16>은 부품 3에 대한 공정 계획 결과를 보여주는 것이다. 결과적으로 부품 2에서 사용된 셋업이 그대로 사용되었으며 사례를 이용하여 결정된 작업 및 지식베이스의 추론을 통해 결정된 작업들도 있다. 결정과정에서 사용자 입력은 없었다. 이 결과를 새로운 사례로 저장할 경우 단계별 결정사항들끼리 묶어 하나의 추상을 구성시키고 이를 사례 베이스에 추가한다.

6. 결론

본 연구에서는 계층적 사례 기반 추론 개념을 이용하여 공정계획 과정을 계층적으로 수행할 수 있는 모델 및 방법을 제시하였다. 공정계획을 수행하는 데 있어 과거의 공정계획 경험을 이용하고 또한 새로운 경험을 학습 할 수 있는 공정계획 시스템을 구축하기 위해 사례 기반 추론 개념을 적용하였다. 계층적 사례 기반 공정계획 절차는 부품의 계층적 형상구조를 바탕으로 하며 사례의 검색 및 적용 과정을 거쳐 공정계획이 이루어진다. 부품 표현은 형상을 기반으로 하며 프레임을 이용하여 표현했고 이는 다시 계층적 형상구조에 의해 여러 단계의 추상들로 나뉘어진다. 공정계획 사례 역시 여러 단계의 추상들로 나뉘어지며 각 추상 단계는 부품 추상과 이에 대한 공정계획을 포함한다.

유사한 부품은 유사한 추상들을 가지게 된다. 그러므로 입력된 부품의 공정계획 수립 과정에 이용되는 사례를 선택하기 위해서는 각 추상 단계마다 사례 베이스에서 유사한 추상들을 선택하면 된다. 사례 검색은 추상의 유사성을 기준으로 하며 추상의 유사성은 수치적으로 결정된다. 이를 위해 형상 특성의 차이를 수치적 척도로 산정하고 각 특성의 차이값들로 형상간의 유사성 척도를 결정하는 방법과 또 형상간의 유사성 척도들을 이용하여 부품 추상의 유사성 척도를 계산하는 방법을 제시하였다. 선택된 사례 추상의 공정계획을 이용하여 새로운 부품 추상의 공정계획을 결정하기 위해 사례 적용을 수행한다. 모든 추상 단계를 거치며 단계마다 사례 적용이 수행되고 마지막 단계에서는 새로운 부품에 대한 완전한 공정계획이 결정된다. 사례 적용 과정에서는 사례의 공정계획 뿐만 아니라 여러 가지 알고리즘 및 지식 베이스의 추론결과들을 이용한다. 적용과정에 사용되는 알고리즘들은 간단한 발견적 해법들이다. 현 상황에 맞는 정확한 알고리즘을 개발하기 위해서 본 연구에서는 간단한 방법을 제시하였다.

```

=====
ABSTRACTION LEVEL 2 of PART part3
=====
      (SETUP 1 (index0)) (Fix_D=2) (method_C)
-----
(MACHINE1(index 0)) (Horizontal_M/C).....
<TOOL TYPE> {side_mill} .....
FEATURE{ f2} { slot} (Process Level=4)
O(1) : { rough_peripheral_milling}
(MACHINE) : Horizontal_M/C (TOOL) : side_mill
-----
FEATURE{ f2} { slot} (Process Level=4)
O(2) : { finish_peripheral_milling}
(MACHINE) : Horizontal_M/C (TOOL) : side_mill
-----
(MACHINE2(index 1)) (Grinding_Machine).....
<TOOL TYPE> {wheel} .....
FEATURE{ f2} { slot} (Process Level=4)
O(3) : { finish_grinding}
(MACHINE) : Grinding_Machine (TOOL) : wheel
-----
      (SETUP 2 (index1)) (Fix_D=6) (method_B)
-----
(MACHINE1(index 2)) (Horizontal_M/C).....
<TOOL TYPE> {side_mill} .....
FEATURE{ f1} { step} (Process Level=3)
O(1) : { rough_peripheral_milling}
(MACHINE) : Horizontal_M/C (TOOL) : side_mill
-----
FEATURE{ f3} { slot} (Process Level=2)
O(2) : { finish_peripheral_milling}
(MACHINE) : Horizontal_M/C (TOOL) : side_mill
-----
<TOOL TYPE> {end_mill} .....
FEATURE{ f4} { blind_slot} (Process Level=2)
O(1) : { rough_end_milling}
(MACHINE) : Horizontal_M/C (TOOL) : end_mill
-----
FEATURE{ f4} { blind_slot} (Process Level=2)
O(2) : { finish_end_milling}
(MACHINE) : Horizontal_M/C (TOOL) : end_mill
-----
(MACHINE2(index 3)) (Grinding_Machine).....
<TOOL TYPE> {wheel} .....
FEATURE{ f1} { step} (Process Level=3)
O(2) : { rough_grinding}
(MACHINE) : Grinding_Machine (TOOL) : wheel
-----
(MACHINE3(index 4)) (Grinding_Machine).....
<TOOL TYPE> {wheel} .....
FEATURE{ f1} { step} (Process Level=3)
O(3) : { finish_grinding}
(MACHINE) : Grinding_Machine (TOOL) : wheel
-----
(MACHINE4(index 5)) (Vertical_M/C).....
<TOOL TYPE> {twist_drill} .....
FEATURE{ f5} { hole} (Process Level=3)
O(1) : { drilling}
(MACHINE) : Vertical_M/C (TOOL) : twist_drill
-----
<TOOL TYPE> {reamer} .....
FEATURE{ f5} { hole} (Process Level=3)
O(2) : { rough_reaming}
(MACHINE) : Vertical_M/C (TOOL) : reamer
-----
FEATURE{ f5} { hole} (Process Level=3)
O(3) : { finish_reaming}
(MACHINE) : Vertical_M/C (TOOL) : reamer
-----

```

< 그림 16 부품 3에 대한 공정계획 결과 >

參 考 文 獻

[1] Behrokh Khoshnevis, Wei Tan, "A Rule-Based Process Selection module for Milling Operations", *Internet*, 1996.

[2] Elaine Rich, Kevin Knight, *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, Inc., 1991.

[3] Honghee Lee, "A Generic Learning System for Computer-Aided Process Planning", Ph.D. Thesis, Pennsylvania State University, 1991.

[4] Janet Kolodner, *Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann Publishers, Inc. 1993.

[5] Karen Ketler, "Case-Based Reasoning : An Introduction", *Expert System With Applications*, Vol.6, 1993, pp3-8.

- [6] L. Karl Branting, David W. Aha, "Stratified Case-Based Reasoning : Reusing Hierarchical Problem Solving Episodes", *IJCAI*, 1994, pp384-390.
- [7] M. Marefat, J. Britanik, " A Case-Based Approach for Process Planning", *Internet*, 1996. ,
- [8] S. A. Irani, H.-Y. Koo, S. Raman, "Feature-Based Operation Sequence Generation in CAPP", *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.1, 1995, pp17-39.
- [9] T. N. Wong, S. L. Siu, "A Knowledge-Based Approach to Automated Machining Process Selection and Sequencing", *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.12, 1995, pp3465-3484.
- [10] T. C. Chang, Richard A. Wisk, *An Introduction to Automated Process Planning System*, Prentice-Hall, Inc., 1985