

## CBR을 이용한 Setup Planning에서의 Similarity Index 결정에 관한 연구

한만철<sup>#</sup>, 박선주\*, 하성도\*

### A Study on the Case-Based Reasoning Setup Planning: Focused on the Similarity Index

Manchul Han<sup>#</sup>, Sunjoo Park\* and Sungdo Ha\*

#### ABSTRACT

This paper addresses the methodology development for the automated machining setup planning system using case-based reasoning(CBR). The case-based reasoning is used to develop a setup planning system, which consists of part input and representation module, case retrieval module, and case adaptation module. We present new approaches in the part input and representation module and the case retrieval module focusing on the similarity index determination. An illustrative example is included to demonstrate the proposed method.

**Key Words :** Setup Planning (셋업 계획), Case-Based Reasoning (사례 기반 추론), Similarity Index (유사도 인덱스)

#### 1. 서론

기계가공 공정에서 ‘셋업(Setup)’의 정의는 ‘제품을 생산하기 위해서 가공 대상물(Workpiece)을 기계의 지지대(Plate) 위에 원하는 위치 및 방향으로 고정시키는 작업’이다.<sup>1</sup> 하나의 셋업을 수행하기 위해서 작업자는 가공 대상물을 Fixture와 Jig를 사용하여 지지대 위에 고정시키고, 기계는 셋업 내에서 가공해야 하는 형상의 순서에 따라서 가공 작업을 수행한다. 하나의 제품을 가공하기 위해서는 설계 도면에 표시된 정보에 따라서 적어도 1개 이상의 셋업이 필요하다. 셋업계획(Setup Planning)이란

설계 도면상의 제품을 생산하기 위해 필요한 셋업의 목록을 만들고 셋업 사이의 순서를 결정하는 작업이다.

기존의 셋업계획 방법론들은 셋업 계획을 수립하기 위하여 특정형상정보, 공차 정보, 가공 대상물의 형상, Modular Fixture Elements 등의 요소들이 Stability, Production Requirement, User Requirement 등을 만족시킬 수 있도록 각 고려사항들을 Neural Network Model이나 Graph-Based Model의 구성 요소를 이용하여 표현한 후, Model 자체의 문제를 해결하는 접근법을 사용하였다.

이러한 Model 위주의 접근법들은 초기에 셋업

접수일: 2006년 3월 22일; 개재승인일: 2006년 7월 26일  
교신저자: 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터  
E-mail manchul.han@kist.re.kr Tel. (02) 958-5634  
\* 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터

계획을 위한 알고리즘이 결정되면, 이후에 입력되는 셋업 계획 문제들에 대해 모두 동일한 알고리즘을 이용하여 셋업 계획을 작성한다. 만일 이 때 얻어지는 셋업 계획이 올바르게 작성되지 않았다면, 셋업 계획 전문가는 자신이 가지고 있는 노하우를 활용하여 셋업 계획을 수정할 것이다. 기존의 Model 위주의 접근법이 가지고 있는 단점은 이렇게 수정된 셋업 계획을 저장할 수 없다는 것이고, 실제 수행된 셋업 결과들을 반영하여 기존의 알고리즘을 개선하기 위해서는 결과의 분석, 모델의 재정의, 문제 풀이 법의 유효성 재검토 등 부가적인 과정에 많은 노력이 들어가게 된다.

따라서 셋업 계획의 지식을 축적하고 활용하는 방안을 위해서는 기존의 모델이 수행하지 않는, 과거의 경험을 활용하여 셋업 설계 과정에서 발생하는 지식들을 고려하는 모델이 필요하다.

## 2. 사례 기반 추론 (CBR: Case-Based Reasoning)

### 2.1 CBR 개요

사례 기반 추론 방법은 인공지능 기법들 중의 하나로서, Roger Schank가 1982년에 “Dynamic Memory”라는 저서에서 소개한 추론에 관한 기억기반 접근방법(Memory-Based Approach)이 사례 기반 추론에 대한 최초의 연구이다. 사례 기반 추론 방법의 기본 원리는 전문가가 복잡한 문제를 해결하려고 할 때, 규칙을 먼저 적용하는 것이 아니라 자신이 과거에 수행한 문제 해결 작업 중 당면한 문제와 유사한 문제를 접한 경우가 있는지를 먼저 탐색해 보고, 그 문제의 해결책 및 해결하는 과정에서 적용했던 방법들을 현재의 문제에 적용하여 해결책을 찾으려고 한다는 ‘유사 추론’ 또는 ‘경험적 추론’이다. 즉 문제의 ‘원인’과 ‘결과’ 외에도 ‘문제를 해결하는 과정’ 역시 지식을 구성하는 하나의 요소가 된다. 즉 문제를 ‘어떻게(How)’ 해결했는가에 대한 정보를 포함하고 있다.

사례 기반 추론 방법을 사용하여 과거의 사례를 직접 문제 해결에 활용할 경우 시간의 절약, 작성된 계획의 실행 가능성 보장, 그리고 과거의 경험을 직접 사용한 문제 해결 등의 장점을 가진다. 문제를 해결하려고 할 때 과거의 경험이란 문제의 단서와 같은 역할을 한다. 따라서 문제와 규칙만을 가지고 해결책을 만들어 갈 때 보다 시간이 절약된다.

그리고 과거의 경험이 존재한다는 것은 문제를 해결했다는 것을 의미한다. 즉 사례 기반 추론 방법에서 과거의 경험을 활용한다는 것은 해당 시스템이 제공하는 해결책이, 방법론을 채택한 곳에서 실행을 할 수 있다는 타당성을 제공하는 근거가 될 수 있다. 또한 경험 자체가 방법론을 채택한 시스템에 저장되기 때문에 미처 다루지 못한 사례가 문서화된 형태로 존재할 경우 해당 사례를 이용한 시스템의 업데이트가 상대적으로 간단한 과정을 통해 이루어진다.

### 2.2 사례(Case)의 구성

사례(Case)는 문제를 해결하는 과정에서 발생하는 일련의 기록들을 남겨놓은 것으로, 사례 기반 추론 방법론에서 지식을 구성하는 기본 단위이자 ‘문제를 해결하는 기본 요소’이다.<sup>2</sup> 사례는 해결해야 할 사실들에 대해서 서술한 문제(Problem)와 관련된 해결책(Solution)으로 구성된다.

문제(Problem)는 사례 기반 추론 시스템의 입력으로 사용된다. 문제의 형태는 해당 도메인에 따라서 다양한 형태를 가지지만, 기본적 형태는 사례가 발생하는 환경에 대한 정보를 변수로 저장하고 있다. 해결책(Solution)은 사례 기반 추론 시스템의 결과로 해당 문제를 해결하는 방법을 설명하고 있다. 여기에서 포함하고 있는 내용은 ‘왜 문제를 이렇게 풀었다’는 것이 아니라 ‘어떻게 문제를 해결했다’는 것이다.

사례 기반 추론 방법에서 새로운 사례를 구성하는 방법은 다음과 같다. 우선 해결해야 할 사실들에 대해서 문제를 구성한 후, 과거의 경험들 중에서 유사한 경험이 있는지를 살펴본다. 유사한 사례가 발견되면 해당 사례에서 해결책을 분리하고 난 후, 입력된 문제와 묶어서 새로운 사례를 구성한다.

### 2.3 CBR 시스템 구성

사례 기반 추론 방법을 사용한 시스템에서 사례는 사례 베이스(Case Base)에 저장된다. 사례 베이스는 규칙 기반 전문가 시스템에서 규칙이 저장되어 있는 지식 베이스(Knowledge Base)에 해당하는 것이다. 사례 베이스를 이용하여 사례 기반 추론을 수행하기 위해서는 사례 베이스에 저장된 사례를 표현하기 위한 표현방법(Case Representation), 사례 검색 속도 향상을 위한 색인 방법(Case Indexing)을 선택하여 사례 기반 추론 시스템의 구조를 결정해

야 한다.

사례를 표현하는 방법을 결정하기 위해서는 주어진 영역에서 발생하는 문제가 어떤 상태(State)를 가지고 있는지를 나타낼 수 있는 특정 요소(Factor)를 선택하고 난 후, 어떤 구조로 상태를 표현할 것인가에 대해서 결정을 해야 한다. 특정 요소는 색인 및 사례 추론 과정에서 검색 및 유사성(Similarity) 결정의 기본이 되는 것으로 사례 기반 추론 시스템의 목적을 제대로 표현하고 사례의 성격을 가장 잘 나타낼 수 있는 것으로 선정해야 한다.

색인(Index)은 특정한 사례가 주어졌을 때, 사례 베이스에서 유사한 사례를 찾는 과정을 효율적으로 만들기 위해서 사례 베이스의 사례들을 조직화하고 표식을 붙이는 것이다. 사례의 개수가 증가하는 정도와, 비슷한 사례를 추출하는데 걸리는 시간 등을 고려하여 색인을 구성하는 방법을 결정해야 한다. 이때 색인은 ‘예측이 가능할 것’, ‘사례를 사용하는 목적을 정확하게 나타낼 것’, ‘사례 베이스의 확장에 대비할 수 있을 것’, ‘나중에 사례를 접했을 때 알아볼 수 있을 만큼 명확할 것’ 등의 조건을 만족해야 한다. 이 과정에서 적용되는 전문가의 지식은, 문제를 풀이하는 것에 관련된 지식이 아니라 문제를 바라보는 관점에 대한 지식이다.

이렇게 결정된 사례 표현 방법과 사례에 대한 색인 방법을 바탕으로 사례 기반 추론은 다음과 같은 5가지 구성 요소를 가진다.

- 인덱싱 규칙 (Indexing Rule): 도서관 목록 카드와 유사한 역할을 한다. 해결해야 할 입력된 문제와 저장되어 있는 유사한 사례를 연결할 수 있도록 문제에 대한 적절한 특성을 부여하는 규칙이다.
- 사례 베이스 (Case Base): 사례의 특성과 그 해를 저장하는 일종의 데이터베이스이다.
- 유사 척도 (Similarity Index): 사례베이스에서 추출되는 사례가 다수일 때 입력된 문제와의 유사성을 비교할 수 있는 판단기준이다.
- 적응규칙 (Adaptation Rule): 추출된 과거의 유사한 사례가 새로운 문제와 완전히 일치하지 않을 경우 그 차이를 보상하는 규칙이다.
- 정정 규칙 (Repair Rule): 제안된 해에 대한 검사 결과 적절하지 못한 해를 수정하는 규칙이다.

## 2.4 CBR 진행 과정

사례 기반 추론에 관한 기존의 연구들에서 제시

된 사례 기반 추론의 진행 과정은 서로 약간의 차이가 있으나 전체적으로 기본 개념은 유사하다. 여기에서는 Brown과 Gupta가 제시한 절차를 중심으로 하여 사례 기반 추론의 진행 과정을 크게 다음과 같이 ‘사례 추출(Case Retrieval)’, ‘사례 적용(Case Adaptation)’, ‘사례 학습(Learning)’의 세 가지 단계로 구분한다.<sup>3</sup>

### 2.4.1 사례 추출(Case Retrieval)

사례 추출이란 주어진 입력된 문제와 관련성이 높은 유용한 문제를 포함하는 사례를 사례 베이스에서 추출하는 단계이다. 이렇게 추출된 사례의 해결책은 해결 대상 문제의 해결책으로 다시 사용된다. 이때 중요한 것은 문제의 특성을 적절히 파악하여 인덱스로 정의하는 것이다. 문제의 특성은 문제와 해의 관계성에 의해 정의되며 그 정도에 따라 유사성을 비교할 수 있다. 따라서 이것을 제대로 표현할 수 있는 인덱스의 구성 여부가 성공적인 사례 추출 및 지식표현의 관건이 된다.

인덱싱 규칙에 의해 문제의 특성이 부여되면 사례를 저장하고 있는 사례 베이스로부터 사례를 선정하게 되는데 이를 위하여 문제와 사례간의 유사성의 정도를 평가하기 위한 유사 척도(Similarity Index)를 정의하고 이를 이용하여 유사 사례를 결정한다.

### 2.4.2 사례 적용(Case Adaptation)

사례 적용은 사례 추출 단계에서 추출한 사례의 해결책을 현재 주어진 새로운 문제에 적용하여 효과적인 해답을 찾는 단계이다. 추출된 과거의 사례가 새로운 문제 특성과 부분적으로 일치하지 않는 경우 그 사례의 해를 문제 특성에 맞게 변경하여 문제에 대한 완전한 해를 구한다. 적용방법에는 ‘Structural Adaptation’ 방법과 ‘Derivational Adaptation’ 방법이 있다. ‘Structural Adaptation’ 방법은 적용 규칙을 추출된 사례에 표현되어 있는 해결책(Solution)에 직접 적용하여 해를 입력된 문제에 맞게 수정하는 방법이고, ‘Derivational Adaptation’ 방법은 추출된 사례의 해를 구하기 위해 사용했던 문제 해결 과정(Procedure)을 입력된 현재의 문제의 해를 구하기 위해 다시 실행하는 방법으로, 이 방법을 사용하기 위해서는 사례 베이스에 사례를 저장할 때 문제 해결 과정 사례의 속성(Parameter) 중 하나로 정의하여 저장해야 한다.

이렇게 만들어진 해결책은 문제와 결합하여 하나의 새로운 사례를 구성하고, 이것은 사례 학습(Learning)의 기본이 된다.

### 2.4.3 사례 학습(Learning)

사례 학습은 새로운 문제에 대한 문제 해결을 통해 얻어진 새로운 사례, 즉 입력된 문제와 그에 해당하는 해결책을 사례 베이스에 추가하여 지식을 새로 습득하는 단계이다. 사례를 사례 베이스에 추가하기 위해서는, 문제 해결 과정을 거쳐서 얻어진 새로운 사례를 사례 베이스의 개신에 사용할 것인 지의 여부를 결정한 후, 사례 베이스에 대한 색인 개신 등이 이루어져야 한다. 이를 위해서 적응 단계를 거쳐 제안된 해결책에 대한 적합성을 검사하는 검사 단계가 선행된다. 검사 결과 성공적인 해결책을 얻은 경우에는 이러한 사례가 새로운 사례로서 인덱싱되어 사례 베이스에 저장되고, 적절하지 못한 해결책으로 판단되는 경우에는 이에 대한 원인을 밝히고 해결책을 정정하는 과정을 거친 후 다시 검사단계를 거쳐 새로운 사례로서 저장한다. 이 단계는 성공적인 사례와 관련된 지식의 축적뿐만 아니라 실패에 대한 예측이 가능하도록 하여 사례기반 추론시스템이 지식을 학습하는 방법으로 이용된다.

## 3. 사례 기반의 셋업 계획 시스템

### 3.1 기존 연구 사례

기존의 연구들 중 대부분의 셋업 계획 시스템은 앞에서 언급한 바와 같이 규칙 기반(Rule-based)으로 제시되어 있다. 사례 기반의 시스템은 공정 계획(Process Planning) 분야에 많은 수가 적용되어 있다.

W. F. Lu, X. F. Liu, H. C. Chang, L. Dong은 축 대칭(Axisymmetric)의 부품 가공에 대하여 사례 기반 추론을 이용하여 공정 계획 방법론을 제안하였다.<sup>4</sup> 이들은 특히 부품을 어떻게 표현할 것인지에 대하여 초점을 맞추었는데, 하나의 부품이 입력되면 미리 저장된 형상 라이브러리(Feature Library)에서 유사한 형상을 찾아 부품에 코드를 붙인다. 이렇게 부품에 붙여진 코드를 통하여 사례를 완성하고, 추후 기존 사례와의 비교 등을 쉽게 행할 수 있게 된다.

M. K. Tiwari, K. R. Kotaiah, S. Bhatnagar 역시

사례 기반으로 공정 계획 방법론을 제시하였다.<sup>5</sup> 이들은 축 대칭의 부품 가공이 아니라, 육면체의 부품 가공에 대하여 연구를 진행하였다. 일단 어떠한 부품이 주어지면 부품에 대한 모든 형상 리스트를 만들게 되고, 이들 형상 간에 가공 순서가 존재하는지에 대한 체크를 통해 예비 순서 결정(Preliminary Sequencing)을 한다. 다음으로, 사례 라이브러리(Case Library)에서 위와 같은 선행 형상 여부를 조사하게 되고, 이를 입력 부품과 비교하여 일치하는 선행 형상의 총 개수를 이용하여 유사도(Similarity Index)를 계산하게 된다.

S. Champati, W. F. Lu, A. C. Lin은 위의 연구와 흡사하게 사례 기반 공정 계획 방법론을 제시하였다.<sup>6</sup> 이들 역시 육면체의 부품에 대한 가공 공정 계획에 대한 연구를 진행하였는데, 기존 연구와 다른 점은 사례와 부품의 유사도를 비교하는 데 교차(Intersection)를 이용하였다는 것이다. 교차는 참조(Reference), 고정(Clamping), 열린 형상(Opening Feature) 등에 대하여 발생하는 것으로 이들은 형상 가공에 있어서 선후 관계를 발생시킨다. 이러한 선후 관계에 대한 비교를 통하여 입력된 부품과 기존 사례와의 유사도를 비교할 수 있게 되고, 유사도가 큰 사례를 추출하여 셋업 계획에 사용할 수 있게 되는 것이다.

### 3.2 셋업 계획 시스템 제안

여기서는 앞에서 설명한 사례 기반 추론 시스템의 구성에 따라서, 셋업 계획의 전문가 혹은 기존 셋업 계획 시스템에서 작성한 셋업 계획 사례를 이용하여 새로운 제품의 셋업 계획을 작성하는 사례 기반 셋업 계획 시스템에 대하여 제안한다. 여타 사례 기반 추론 시스템과 마찬가지로 셋업 계획 시스템에서 사례를 어떻게 구성할 것이며, 유사도 인덱스(Similarity Index)를 어떻게 정의할 것인가에 대해 논의하고, 정확히 같은 사례가 없을 경우 여러 사례를 입력 부품에 대해 적용하는 방법과, 작성된 계획을 학습하는 네 가지 단계에 대하여 설명한다. 이 때, 사례를 구성하고 그들 간의 유사도를 측정하는 것에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 그리고 Champati등의 논문에서 사용되었던 Fig.1의 사례를 이용하여 논의를 진행코자 한다.

#### 3.2.1 사례 구성에 관한 연구

사례 기반 셋업 계획 시스템에서는 기존 사례를

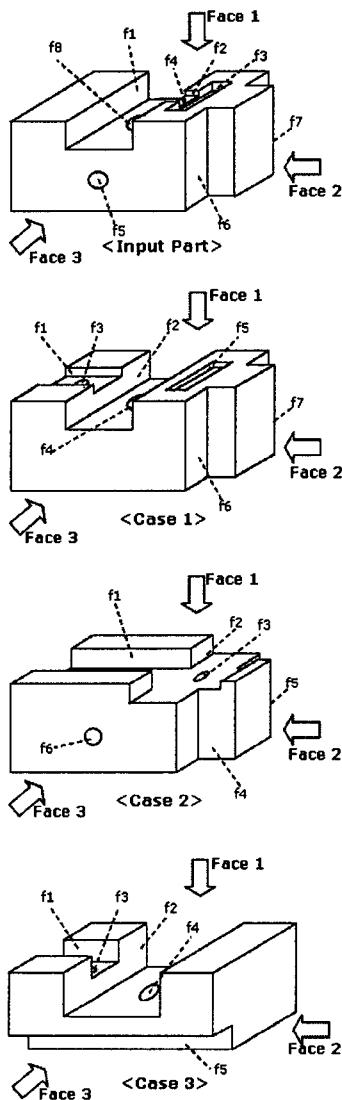


Fig. 1 Example Cases

활용하여 현재의 셋업 계획을 세우게 된다. 이 때 기존의 사례는 어떠한 방식으로 저장되어야 할지에 대한 논의가 필요하다.

사례 기반 셋업 계획 시스템에서는 기존 사례를 활용하여 현재의 셋업 계획을 세우게 된다. 이 때 기존 사례와 현재 입력 부품의 유사도를 알아내기 위해서는 셋업에 영향을 크게 미치는 인자들끼리의 비교가 필요하다.

셋업에 영향을 크게 미치는 인자 중 첫 번째는 부품에 존재하는 형상들이다. Fig. 1의 input part와

case 1, 2를 비교할 때, 각 사례에 차이를 보이는 부분은 face 3에 hole의 존재여부인데, 이러한 형상의 유무로 인해 셋업에 차이가 발생하게 된다. 또한 같은 면에 hole이 있는 경우와 step이 있는 경우를 비교해 보면, 가공 시에 힘이 작용하는 방향의 차이로 인하여 가공물을 고정하는(Clamping) 방식이 달라질 수 있다. 이러한 이유로 사례 구성 시에 부품의 형상을 저장하는 것이 중요하다.

셋업에 영향을 크게 미치는 인자 중 두 번째는 가공 시 부품의 형상들끼리 영향을 주어 생기는 선후관계이다. Champati등은 이를 교차(Intersection)라 정의하였고, 그 종류는 다음과 같다.

1. 참조 교차(Reference Intersection) - 어떠한 형상을 가공할 때 그 형상은 참조로 하는 면을 가지게 된다. 이 때 참조가 되는 형상이 먼저 가공되어야 만 그 뒤의 형상을 가공할 수 있기 때문에 선후관계가 발생할 수 있다.

2. 고정 교차(Clamping Intersection) - Slot이나 Step과 같은 형상을 가공하는 것으로 인해 한 면의 면적이 크게 줄어들어, 그 면을 고정하는 면으로 해서 다른 형상을 가공하는 것이 불가능해질 수 있다. 그러므로 한 면의 면적을 크게 줄이는 형상의 경우 나중에 가공하여야 하고 이로 인해 선후 관계가 발생하게 된다.

3. 열린 형상 교차(Opening Feature Intersection) - 하나의 형상이 다른 형상 내에 열린 면을 가지게 될 때 (예를 들어, Slot 내에 뚫린 Hole 등) 순서가 발생하게 된다.

4. 효과적 가공 교차(Good Manufacturing Intersection) - 만일 경사면에 뚫린 Hole이 있다고 하면, Hole을 먼저 가공하고 경사면을 가공하는 것이 올바른 순서이다. 그렇지 않다면 경사면 가공 후 드릴링을 할 때 드릴 날이 미끄러질 수 있다. 이와 같이 반드시 지켜야 하는 순서라기보다는 지켰을 시에 가공이 효과적으로 이루어질 수 있는 선후 관계를 효과적 가공 교차라 일컫는다.

그러므로 여기에서는 형상과 교차를 고려한 아래와 같은 알고리즘을 이용하여 기존 사례를 저장하고자 한다.

1. 존재하는 모든 형상들을 파악한다. 각 형상은 무작위로  $f_1$ 부터  $f_n$ 까지의 번호를 가지게 되고, 그 종류를 파악하며(Hole, Step, etc.), 다른 형상과 참조 관계가 있는지, 위아래가 뚫린 (가공물을 통과하는 Hole과 같은 경우) 형상인지가 파악된다.

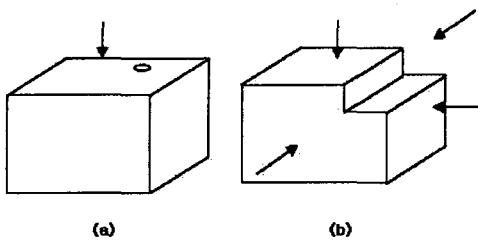


Fig. 2 Differences between a hole and a step

2. 각 형상에 대하여 그 형상의 가공 전후 면적 변화를 계산한다. 이 때 Fig. 2의 (a) 와 같이, 가장 위의 면에만 존재하는 Hole과 같은 경우에는 그 Hole의 가공에 따라 윗면의 면적만이 변화하지만, (b) 와 같은 Step의 경우에는 화살표가 가리키는 네 면 모두에 걸쳐 있기 때문에, 네 면 모두에 대한 면적 변화를 생성한다. 이러한 정보를 모두 저장한다.
3. 위의 1, 2에서 파악된 각 형상들을 면에 할당한다. 이러한 면에 할당하는 과정은 입력 부품과 사례를 비교할 때 각 면끼리의 형상을 비교하는 과정이 존재하기 때문에 필요하다. Fig. 2의 예와 같이 윗면에 존재하는 hole은 그 면에 바로 할당 가능하고, step의 경우에는 다음과 같은 과정을 거쳐 결과로 나온 면에 할당한다.

3.1. 위치 공차(Position Tolerance)를 가지는 형상들의 경우는 같은 면에 할당한다.

3.2. 형상수가 많은 면에 할당한다.

4. 가장 형상이 많은 면을 기준면으로 정의한다.
5. 기준면에 1의 번호를, 반대쪽 면에 6의 번호를 정의한다.

6. 1번, 6번 면을 제외하고 다음으로 형상이 많은 면에 2의 번호, 그 맞은편에 5의 번호를 정의한다. 남은 면에서 형상이 많은 면을 3, 그 반대쪽 면을 4번 면으로 정의한다. 이와 같이 면에 번호를 정하는 과정에서, 후보가 되는 면이 2개 이상일 시에는 임의로 정의한다. 이렇게 면에 번호를 붙이게 되면 형상의 수가 많은 면을 찾는데 도움을 줄 수 있고, 한 면과 맞은편 면의 숫자의 합이 7이 되도록 하여 서로 마주보는 면을 쉽게 알아볼 수 있게 한다.

7. 모든 형상에 대해 교차의 유무를 파악한다. 이렇게 파악된 교차는 각 교차 별로 나뉘어서 저장된다.

위와 같은 알고리즘을 통하여 하나의 사례를 저장하고, 이를 이용하여 다음 절의 유사도 인덱스(Similarity Index)를 계산하는 것이 가능해진다.

### 3.2.2 유사도 인덱스 구성에 관한 연구

사례 기반 추론의 유사도 인덱스(Similarity Index)는 입력과 유사한 사례를 찾아내기 위하여 사용된다. 앞 절에서 언급한 방식과 같이 사례를 구성하는 경우, 입력 부품과 사례의 유사도를 알아내기 위해서는 동일한 형상의 유무, 동일한 교차의 유무를 비교하는 것으로 유사한 사례를 찾아낼 수 있다.

이 때 고려해야 할 것은, 단순히 동일한 형상 및 교차의 개수만으로 유사도 인덱스를 결정해서는 안 된다는 것이다. 10개의 형상을 가지고 있는 입력 부품이 있고, 5개의 형상 및 10개의 형상을 가지는 사례 두 개가 존재한다고 가정하자. 이 때 첫 번째 사례는 5개 모두가 입력 부품과 일치하고, 두 번째 사례는 10개 중 6개의 형상이 입력 부품과 일치한다고 하면 두 사례 중 앞의 것이 좀 더 입력 부품의 셋업 계획에 도움을 줄 것은 분명하다. 그러나 단지 개수를 세는 것만으로는 두 번째 사례의 유사도 인덱스가 더 높게 나타날 수 있다. 물론 교차에서도 마찬가지이다. 이러한 문제점을 방지하기 위해서는 일치하는 형상 및 교차의 개수를 사례와 입력 부품의 총 형상 및 교차의 개수로 나누어, 유사도 인덱스를 0에서 1 사이로 바꾸어 주는 과정이 필요하게 된다.

다음으로 고려해야 할 것은 형상과 교차 중 어느 것이 더 셋업에 영향을 미치는지에 대한 것이다. 예를 들어 간단한 부품만을 가공하는 경우 교차가 거의 발생하지 않을 수 있고, 유사도 인덱스에서는 교차에 더 비중을 두고 있다면, 대부분의 사례에서 유사도가 비슷하게 나타날 것이다. 그러므로 형상과 교차에 각각 가중치를 주어 어느 것을 더 비중 있게 고려할 것인지에 대해 결정하는 과정이 필요하게 된다.

위와 같은 사항을 고려하여, 본 논문에서는 유사도 인덱스를 다음과 같이 정의한다.

$$SI = \omega_f \times \frac{2 \times f_m}{f_p + f_c} + \omega_i \times \frac{2 \times i_m}{i_p + i_c}$$

이 때 각각의 문자가 의미하는 것은 아래와 같다.

- SI : 유사도 인덱스 ( $0 \leq SI \leq 1$ )
- $\omega_f, \omega_i$  : 형상과 교차에 대한 가중치 ( $0 \leq \omega_f, \omega_i \leq 1, \omega_f + \omega_i = 1$ )

- $f_m$  : 동일한 형상의 개수
- $f_p$  : 입력 부품 형상의 총 개수
- $f_c$  : 사례 형상의 총 개수
- $i_m$  : 동일한 교차의 개수
- $i_p$  : 입력 부품 교차의 총 개수
- $i_c$  : 사례 교차의 총 개수

위 식을 이용하면 형상과 교차 각각에 의한 유사도가 0에서 1사이의 값을 나타내게 되고, 셋업 계획을 작성하는 전문가가 둘 중 어느 것에 가중치를 둘 것인지를 고려하여  $\omega$  값을 결정할 수 있다. 그리하여 최종적으로 0과 1사이의 유사도 인덱스 값을 얻어낼 수 있다.

### 3.2.3 사례 적용 및 학습에 관한 연구

입력 부품에 대해 저장된 사례에서 가장 유사한 것을 찾아내었다 하더라도 이 사례의 셋업을 입력 부품에 바로 적용할 수 있다는 보장은 없다. 그렇기 때문에 사례 기반 추론 시스템은 사례 적용 단계에서, 검색된 사례와 잘 맞지 않는 부분에 대하여 다른 사례의 결과를 이용하여 적용하는 단계를 가진다. 하지만 셋업 계획 시스템에서는 각 셋업 단계들이 독립적이지 않기 때문에 이러한 사례 적용을 실행하기가 어렵다.

예를 들어 하나의 사례가 입력 부품과 가장 유사한 것으로 밝혀졌다고 가정하자. 이 때 사례에서는 1번, 2번, 4번, 1번 면의 순서로 셋업이 이루어지는데, 입력 부품은 4번 면의 셋업이 사례와 다르다고 하면, 이 4번 면의 셋업을 위해 또 다른 사례를 추출하여 적용하는 것이 가능하지 않을 수 있다. 우리의 사례 기반 셋업 계획 시스템에서는 단순히 각 면에 존재하는 형상들만을 고려하여 독립적인 면에 대하여 셋업 계획을 세우는 것이 아니라, 교차를 고려함에 따라 두 개 이상의 면을 가공하는 것이 서로 연관을 가질 수 있기 때문이다. 위에서 예로 든 경우에 새로 추출한 4번 면을 위한 사례에서 4번 면의 가공이 2회 이상 이루어진다고 할 때 문제가 생길 수 있는 것이다.

그러므로 이 시스템에서는 두 개 이상의 사례를 적용하지 않고, 가장 유사한 사례의 셋업 계획을 추출한 후 차이가 나는 부분에 대해서는 전문가가 수정하여 셋업 계획을 완성하는 것으로 가정하고, 이 부분에 대해서는 추후 연구를 통해 보강하도록 한다.

이렇게 완성된 셋업 계획은, 기존의 사례와 차이가 있는 경우에 앞 3.2.1에서 언급한 사례 구성 방법을 통하여 사례 라이브러리에 저장하도록 한다.

### 3.2.4 예제

Fig.1에서 제시한 예제에 대하여 사례 기반 셋업 시스템을 적용하기 위해, 각 사례에 존재하는 형상과 교차를 모두 알아내어 다음 Table1과 같이 나타내었다. 다음으로 이들을 이용하여 각 사례별로 유사도 인덱스를 계산한 결과를 Table2에 나타내었다. 이 때 우선은 형상과 교차의 비중이 같다고 가정하여  $\omega$ 의 값은 모두 0.5로 계산하였다.

이전 사례 기반 셋업 시스템과 같이 형상 혹은 교차만을 이용하는 경우에 비하여 이 결과는 더 좋은 성능을 보인다. 예를 들어 교차만을 이용하는 경우는 각 사례의 유사도 인덱스가 0.889, 0.750, 0.667을 보인다. 본 논문의 결과와 순서는 일치하지만, 형상을 고려하였을 때 사례 1과 2는 좀 더 입력 부품과 유사한 것으로, 사례 3의 경우는 좀 덜 유사한 것으로 수치가 이동한 것을 알 수 있다. 실제로 사례 3과 같은 경우의 셋업은 입력 부품의 셋업 계획에 적용하기가 어려움이 자명하나, 교차만을 고려하여서는 그 유사도가 더 높게 나올 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 기존의 규칙 기반 셋업 계획 시스템의 문제점을 인식하고 사례 기반의 셋업 계획 시스템을 제안하였다. 특히 기존 사례 기반 셋업 계획 시스템이 유사도 인덱스를 계산할 때 부품의 형상만을 고려하거나 형상간의 선후관계(교차)만을 고려했던 것과는 달리, 형상과 교차를 동시에 고려함으로서 입력 부품과 가장 비슷한 사례를 쉽게 찾아낼 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 사례 기반 셋업 시스템을 이용하면, 기존의 성공적인 셋업 정보로부터 지식을 추출하여 새로운 셋업 계획에 효과적으로 적용하는 것이 가능하게 된다.

그러나 본 연구에서 제안한 시스템을 이용하면, 기존의 사례로부터 추출된 셋업 계획이 적절하지 않을 때 전문가가 이를 수동으로 수정하여야 한다. 기존 사례들의 결과를 조합하여 새로운 셋업 계획을 수립할 수 있는 사례 적용에 대한 연구가 추후 보강된다면 시스템의 활용도가 더욱 높아질 것으로

Table 1 Features and Intersections of Example Cases

	Features	Face	Type
Input Part	f1	F1	Slot
	f2	F1	Slot
	f3	F1	Blind Slot
	f4	F1	Blind Hole
	f5	F3	Blind Hole
	f6	F2	Step
	f7	F2	Step
	f8	F1	Blind Hole
	Features	Intersection	Type
Case 1	f2 → f4	Reference	
	f1 → f6, f7	Clamping	
	f1 → f8	Reference	
	f1 → f2	Opening Feature	
	f3 → f2	Opening Feature	
	Features	Face	Type
Case 1	f1	F1	Blind Slot
	f2	F1	Slot
	f3	F1	Blind Hole
	f4	F1	Blind Hole
	f5	F1	Blind Slot
	f6	F2	Step
	f7	F2	Step
	Features	Intersection	Type
Case 2	f2 → f6, f7	Clamping	
	f2 → f4	Reference	
	f1 → f3	Reference	
	f2 → f1	Opening Feature	
	Features	Face	Type
Case 2	f1	F1	Blind Slot
	f2	F1	Slot
	f3	F1	Blind Hole
	f4	F2	Step
	f5	F2	Step
	f6	F3	Blind Hole
	Features	Intersection	Type
Case 3	f2 → f4, f5	Clamping	
	f1 → f3	Reference	
	f2 → f1	Opening Feature	
	Features	Face	Type
	f1	F1	Blind Slot
Case 3	f2	F1	Slot
	f3	F1	Blind Hole
	f4	F1	Blind Hole
	f5	F3	Step
	Features	Intersection	Type
Case 3	f5 → f2	Clamping	
	f2 → f4	Reference	
	f1 → f3	Reference	
	f2 → f1	Opening Feature	

예상된다. 덧붙여, 성공적으로 수행된 사례를 저장하는 방법에 대해서도 계속적인 연구가 필요할 것이다.

Table 2 Computed Similarity Indexes

Case 1	Number of matched features: 7 Number of matched intersections: 4 Similarity Index: 0.911
Case 2	Number of matched features: 6 Number of matched intersections: 3 Similarity Index: 0.804
Case 3	Number of matched features: 4 Number of matched intersections: 3 Similarity Index: 0.641

## 참고문헌

- Huang, S. H., "Automated Setup Planning for Lathe Machining," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 17, No. 3, pp. 196-208, 1998.
- Watson, L., "Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems," Morgan Kaufman, 1997.
- Brown, C. E. and Gupta, U. G., "Applying Case-Based Reasoning to the Accounting Domain," International Journal of Intelligent Systems in Accounting Finance and Management, Vol. 3, No. 3, pp. 205-221, 1994.
- Lu, W. F., Liu, X. F., Chang, H. C. and Dong, L., "Feature-Based Representation and Indexing of Axisymmetric Parts in Machining Process Planning Using Case-Based Reasoning," International Conference on Tools with Artificial Intelligence, pp. 406-413, 1997.
- Tiwari, M. K., Kotaiah, K. R. and Bhatnagar, S., "A Case-Based Computer-Aided Process-Planning System for Machining Prismatic Components," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 17, pp. 400-411, 2001.
- Champati, S., Lu, W. F. and Lin, A. C., "Automated Operation Sequencing in Intelligent Process Planning: A Case-Based Reasoning Approach," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 12, No. 1, pp. 21-36, 1996.