

## 사례기반 추론을 이용한 공정설계 Process Design Using Case-Based Reasoning

서윤호 · 고범석 · 김용태  
울산대학교 산업정보경영공학부  
지능시스템설계(Intelligent System Design) Lab.

### <Abstract>

This paper introduces a method to automate process design using Case Based Reasoning technique. Particularly, the function-behavior-structure model is used to represent a process plan as a case. Specifically, a case retrieval algorithm to use function and behavior, case adaptation knowledge definition by using neural network technique, and a machine selection method are presented.

**Key words:** process planning, CBR(Case-Based Reasoning), FBS (Function-Behavior-Structure) model

### 1. 서 론

제품의 설계가 완성된 후 제품을 생산하기 위하여 제품 및 부품 생산의 방법을 명시한 공정설계(Process Design)가 필요하다. 공정설계란 제품의 설계사양을 구현하기 위한 가공 및 조립 방법과 순서 그리고 그에 따른 여러 제약들을 고안하여, 최적의 계획을 수립하는 제조 단계로 정의될 수 있다. 특히 새로운 제품의 생산을 위하여 그 제품 생산을 담당 할 제조 시스템 또는 라인을 새로이 설계 및 설치하여야 하는 특징을 가진 제조업에서, 제품 마다의 특성에 따른 공정 설계는 그 자체로 공정 생산성에 영향을 미칠 뿐만 아니라 제조 시스템 설계의 기초 자료가 되기 때문에 매우 중요하다.

공정설계는 다른 설계영역과 마찬가지로 인간의 독창성과 경험의 축적 및 활용을 필요로 하는 분야이기 때문에, 이를 자동화하기 위하여 공정설계 전문가의 경험 및 지식을 컴퓨터가 해독할 수 있는 형태로 표현하여야 할 필요가 있는 것이다. 본 논문에서는 공정 자동설계방법을 제시하기 위하여 사례기반추론(Case-Based Reasoning, 이하 CBR)기법을 도입하였다. 사례기반추론이란 현재 문제를 해결하기 위해 유사한 과거 사례를 탐색하고, 그 사례에 대한 해법을 수정 및 보완하여 현재 문제에 대한 해를 찾는 인공지능의 한 분야이

다. 공정설계 문제에 있어서 사례란 가공 또는 조립공정과 그 공정에 포함된 부품 정보를 의미하며, 구하고자 하는 해는 공정설계를 의미한다. 과거의 공정설계 결과들을 사례로 기술하기 위하여는 공정명, 해당 공정을 수행하기 위한 세부작업, 세부작업 시간 및 작업을 수행할 장비, 그리고 세부작업 간의 관계를 표현하여야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 심층지식(deep knowledge)을 표현할 수 있는 Function-Behavior-Structure(이하 FBS)모델을 이용하였다.

지금까지의 사례기반추론에 대한 연구는 이론적인 부분[1][2]과 응용논문으로 구분될 수 있으며, 응용 분야로는 원형 제품에 대한 공정계획 시스템 개발[13], BOM생성과정에 사례기반 이용가능성 제시[16], 기계설계에의 이용[3][4][5][12] 그리고 문제영역이 상이한 제품의 설계[11]에의 이용 등을 들 수 있다. 지금까지의 관련 연구와는 다르게 본 논문이 대상으로 하는 문제는 완제품 생산을 위하여 각 단계에서 조립되어야 할 공정명이 주어지면, 이 공정명과 가장 유사한 사례를 탐색하여 이를 사례제사용 방법에 따라 그 부품의 조립에 가장 적합한 부속장비 선정 및 공정시간을 구하는 것이다. 본 연구에서 공정설계를 공정을 수행하는데 필요한 부속장비의 선택과 각 공정의 공정시간을 계산하는 임무에 국한하고 있으며, 본 논문에서 제시한 방법은 일반적인 공정설계 문제에 적용가능하다.

구체적으로 본 논문에서는 FBS모델을 통한 사례표현 방법, 기능을 이용하여 유사사례 선정하는 방법, 신경회로망을 이용한 case adaptation knowledge정의 방법을 제시하고, 새로운 부품 사양에 따른 공정설계를 생성하는 예를 보일 것이다. 특히, case adaptation knowledge를 정의하는 방법으로 신경망 이론인 백프로퍼게이션 학습 알고리즘을 이용하였다[15]. 신경회로망이란 생물학적인 신경회로망과 같은 특성을 가진 정보 처리 시스템을 말한다. 이러한 신경회로망은 자료 혹은 패턴들의 저장과 추출, 패턴 분류, 입력 패턴들과 출력 패턴들의 일반화된 연결수행, 유사한 패턴들의 그룹화 그리고 제약이 있는 최적화문제에 대한 해결과 같은 문제들에 이용이 되었다[9]. 신경회로망을 이용한 논문들에는 용접 작업에 필요한 파라미터 값 결정 문제[6], part family와 machine cell형성을 위한 GT문제 해결[10], 공정순서를 결정하기 위한 신경회로망 이용[8], 그리고 printed circuit board의 조립순서 결정[14]이 있다. 반면에 본 연구에서는 공정시간에 영향을 주는 속성들에 대한 학습을 통하여 case adaptation knowledge를 정의하였다.

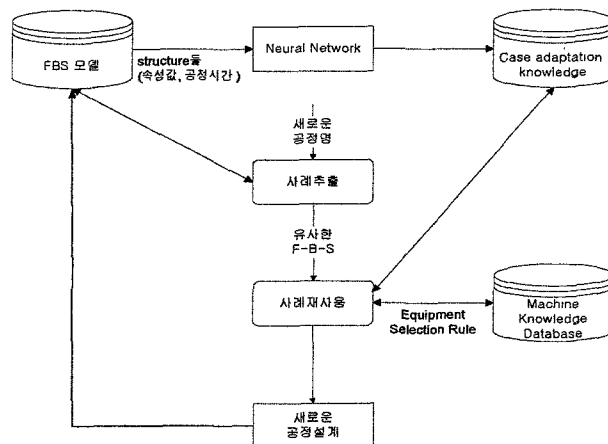


그림 1. CBR 공정설계 과정

본 논문에서 제시한 방법론은 공정명이 주어지면 유사한 공정을 추출하고 유사공정의 행위를 이용하여 새로운 공정의 세부작업을 제시한다. 그런 다음 case adaptation knowledge를 이용하여 새로운 공정에 대한 공정시간을 산출하고 지식기반 시스템을 이용하여 새로운 공정을 수행할 해당 장비를 선정한다. 이를 그림 1에 도시하였다.

## 2. Function-behavior-structure 모델을 이용한 사례 표현

공정설계 문제에 기능-행위-구조(FBS)모델을 적용하기 위하여, 기능(function)은 주어진 공정(명), 행위(behavior)는 그 공정을 수행하기 위해 요구되는 세부공정과 그 상호관계이며, 구조(structure)는 해당 세부작업을 수행하기 위해 필요한 장비, 장비간의 관계 및 공정 시간 등을 포함하는 공정계획으로 정의한다. 예를 들어 base-metal, lens와 saddle을 용접한다라는 공정(즉, 기능)은 7개의 세부공정 (marshaling/loading\_tray, load(base\_metal), load(lens), load(saddle), chucking(lens), moving\_to(align position), 1<sup>st</sup> alignment)이 정해진 순서에 따라 수행될 때 완수될 수 있으며(즉, 행위), 구조에 해당하는 공정계획은 각 세부 작업들을 위한 장비 및 고정구 선택, 공정시간 및 NC 프로그램 등을 포함한다. 따라서 공정설계 사례는 FBS모델의 형식으로 사례기반(case base)에 저장되며 그림 2와 같이 도시할 수 있다.

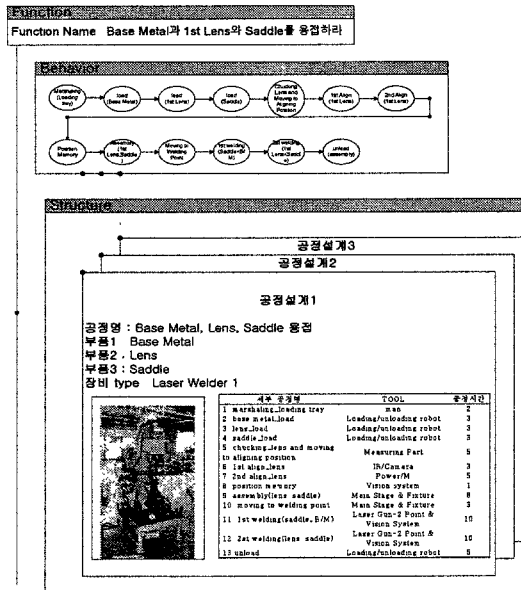


그림 2. 공정설계에서의 FBS구조

어떤 공정의 행위는 세부공정도도 표현될 수 있다. 세부공정도는 세부공정을 정점(node)으로 세부공정간 연결관계를 간선(arc)으로 표현한 방향성 그래프(directed graph)이다. 정점에 간선이 연결되는 방법은 아래 그림 3과 같이 (a)정점과 정점 사이를 화살표로 연결하

여 순서관계만을 표현한 경우, (b)정점에 연결된 간선을 모두 거쳐야 하는 AND연결관계 그리고 (c) 정점에 연결된 간선 중 1개만 거쳐야 하는 OR관계의 세가지가 있다.

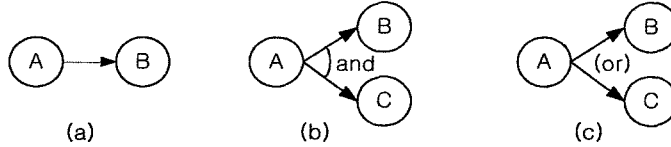


그림 3. 세부공정간 연결관계

이러한 세부공정간 연결관계는 선행공정과 후행공정 짝으로 표현되며(즉, <선행공정, 후행공정>), predicate *and*와 *or*를 이용하여 아래와 같이 표현될 수 있다.

<A, B>  
 <A, *and*(B,C)>  
 <A, *or*(B, C)>

본 연구에서 사례란 상호 연관된 공정(function), 세부공정도(behavior), 공정계획(structure)을 의미한다. 따라서 사례기반 C는 공정집합 F, 행위집합 B와 공정계획집합 S와 공정, 세부공정, 공정계획을 연결을 기록한 KR의 집합으로 정의된다.

$$C = \{F, B, S, KR\}$$

공정집합 F는 상이한 공정의 집합으로,  $i$ 번째 공정  $f_i$ 는 아래와 같이 공정명과 해당 부품으로 정의되며, 이때  $p_i$ 는 부품명이다.

$$f_i = \text{proces - name}(p_1, p_2, \dots, p_n)$$

행위집합 B는 세부공정도로 표현된 행위들의 집합으로,  $k$ 번째 요소  $b_k$ 는 세부공정집합  $P_k$ 와 공정간 관계집합  $R_k$ 의 집합으로 정의된다.

$$b_k = \{P_k, R_k\}$$

세부공정 집합  $P_k$ 와 공정간 관계집합  $R_k$ 은 다음과 같이 정의되며, 공정간 관계  $r_{kj}$ 는 앞서 설명한 선행공정과 후행공정의 짝을 의미한다.

$$P_k = \{b_{ki} \mid \forall i = 1, \dots, I\}, I = \text{세부공정의 수}$$

$$R_k = \{r_{kj} \mid \forall j = 1, \dots, J\}, J = \text{세부공정간 관계의 수}$$

임의의 공정  $k$ 와 세부공정  $i$ 로부터 유도된 공정설계(즉, 구조)  $S_{ki}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$S_{ki} = \{s_{ij} \mid \forall j = 1, \dots, n\}, n = \text{공정 } k \text{와 세부공정 } i \text{로부터 유도된 공정설계 사례 수이며,}$$

$$s_{kj} = (b_{ki}, \text{장비번호}, \text{공정시간})$$

각 경우의 공정설계는 기능, 행위, 구조간에 서로 관련되어 생성되며, 이러한 기능-행위-구조 사이의 인과관계(causal relation)를 나타낸다. 이러한 인과관계는 주어진 공정명에 대하여 공정계획을 유도할 수 있는 심층지식(deep knowledge)에 해당되며, 공정설계과정에서의 기능, 행위 그리고 구조에 대한 서술과 이들 사이의 연결관계에 대한 다양한 지식을 포함한다. 이러한 지식의 인과관계는 기능, 행위, 구조의 사례를 이용하여 정의된다.

$$KR = \{kr_k | \forall k = 1, \dots, K\}, K = \text{인과관계의 수.}$$

$$kr_r = (f, b, s)$$

### 3. 유사사례 선택 및 수정

#### 3.1 유사사례 선택

임의의 주어진 공정에 대하여 사례기반에 저장되어 있는 기능-행위-구조형태의 사례를 이용하여 공정을 설계한다. 동일한 공정과 부품을 가지고 있는 공정이 존재한다면 해당 사례를 그대로 사용(copy)하여 공정을 설계 한다. 공정명은 동일하나 부품의 종류 및 수가 상이한 경우에는 그 공정명의 사례들을 검색하여 부품명 및 세부공정을 수정한다. 마지막으로 전혀 새로운 공정인 경우에는 기존 사례에는 유사한 것이 없으므로 기본 공정들을 세부 작업으로 정의한다.

일반적으로 공정은 공정방법에 따른 기본세부공정으로 구성이 되며, 이러한 기본세부공정은 적용되는 부품에 따라 약간씩 변화될 수 있다. 예를 들어 welding 공정에서 사용부품 중에 lens가 포함된 경우에는 기본세부공정의 align 작업이 1st align과 2nd align으로 세분화 된다. 또한 sleeve가 포함된 경우는 welding 작업과 unloading작업 사이에 hammering작업이 추가 된다. 이러한 특성을 그림 4에 제시하였다.

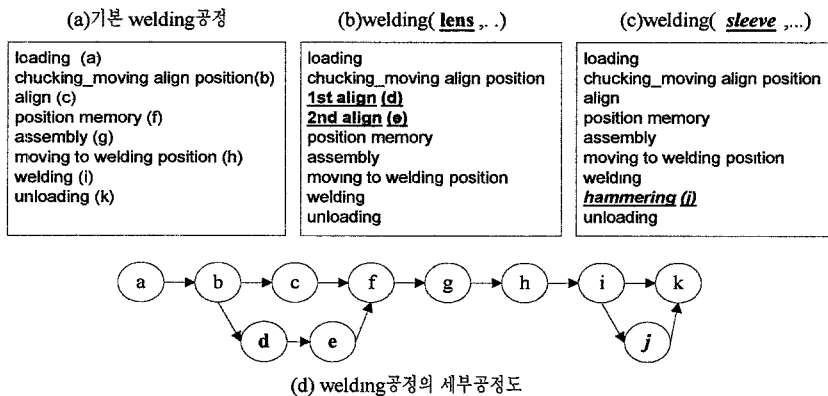


그림 4. welding 공정에서 사용부품에 따른 세부공정의 변화

이와 같이 적용부품이 상이하고 동일한 공정이 사용되는 경우에 적용될 부품과의 유사 정도가 가장 큰 사례를, 부품유사정도가 0인 경우에는 기본세부공정을 갖는 공정사례를 선택한다. 새로운 문제와  $j$ th 사례의 부품유사정도  $P_j$ 는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$P_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

이때  $\sigma_i$ 는 새로운 문제의  $i$ th 부품과 사례 공정의 부품과의 유사정도로 사례에서 동일한 부품이 존재 하면 1, 그렇지 않을 경우에는 0을 갖는다. 사례선정 절차는 그림 5에 자세히 도시하였다.

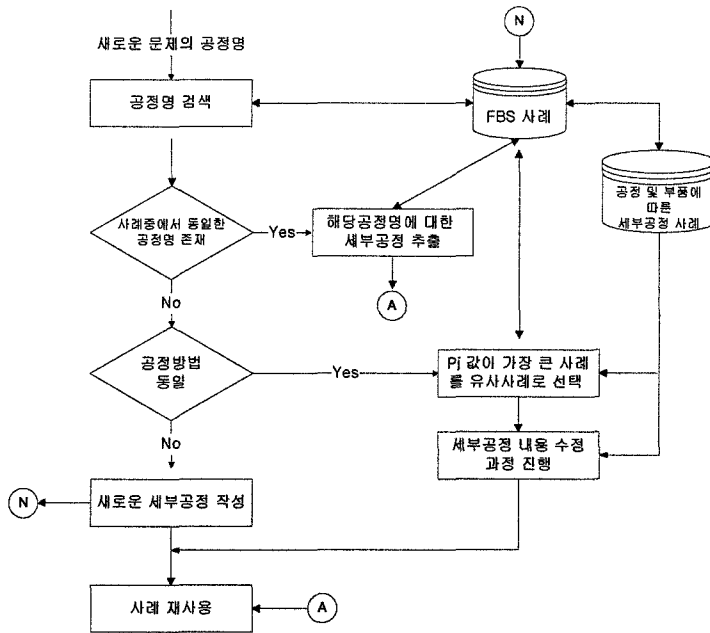


그림 5. 사례선정과정

예를 들어 'package와 sleeve와 fiber를 용접하라'라는 공정에 대한 공정설계를 한다고 하자. 이는  $f_{new} = welding(package, sleeve, fiber)$  로 표현이 된다. 이때 동일한 공정명이 없다고 가정을 하자. 이러한 경우에는 공정방법이 동일한 공정명을 FBS사례 중에서 검색한 결과  $welding(fiber, \dots)$  공정 사례가 유사사례로 선택되었다.

### 3.2 유사사례 세부공정 수정

유사사례 선정과정에서 공정명은 동일하나 부품의 종류 및 수가 상이한 경우에, 세부공정순서 및 세부공정방법이 상이하여 사용되는 부품과 그 세부공정에 따라 수정되어야 한다. 각 세부공정에 사용되는 부품정보는 제품의 형상정보로부터 얻을 수 있다. 위에 예제

$f_{new} = welding(package, sleeve, fiber)$ 에서 제품의 형상정보로부터 fiber와 sleeve 사이와 sleeve와 package 사이에 welding이 요구되며, 이 welding을 수행하기 위하여 align작업이 부품 fiber에 필요하며, assembly 공정에 사용되는 부품은 fiber와 sleeve이라는 정보를 추출하면 유도된  $welding(package, sleeve, fiber)$ 의 세부공정은 다음과 같다.

- $b_{new1} = (load(package), load(sleeve))$
- $b_{new2} = (load(sleeve), load(fiber))$
- $b_{new3} = (load(fiber), chucking\_moving\ aligning\ position(lens))$
- $b_{new4} = (chucking\_moving\ aligning\ position(fiber), align(fiber))$
- $b_{new5} = (align(fiber), position\ memory)$
- $b_{new7} = (position\ memory, assembly(fiber, sleeve))$
- $b_{new8} = (assembly(fiber, sleeve), moving\ to\ welding\ point)$
- $b_{new9} = (moving\ to\ welding\ point, 1st\ welding(fiber, sleeve))$
- $b_{new10} = (1st\ welding(fiber, sleeve), 2st\ welding(sleeve, package))$
- $b_{new11} = (2st\ welding(sleeve, package), hammering(sleeve))$
- $b_{new12} = (hammering(sleeve), unload(assembly))$
- $b_{new13} = (unload(assembly), null)$

유사사례 선택 시 공정명 및 공정방법이 상이한 문제가 발생할 경우 새로운 기본적인 세부공정은 다음 그림과 같은 과정을 거쳐서 작성되어 진다.

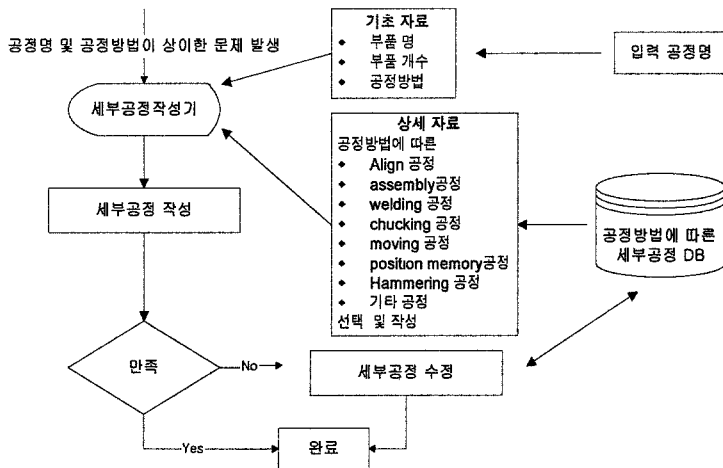


그림 6. 새로운 세부공정 작성

예를 들어 'base metal과 SiOB를 bonding하라'라는 공정에 대한 공정설계를 한다고 하자. 이는  $f_{new} = bonding(base\ metal, SiOB)$ 로써 표현이 된다. 이때 동일한 공정명과 공정방법을 만족하는 유사사례가 존재하지 않으면 새로운 입력 공정명을 통하여 공정방법(bonding),

부품명(base metal, SiOB), 부품 개수(2개)를 알 수 있고 공정방법에 따른 세부공정 DB에서 세부공정이 부품 load, unload순서로 작업이 이루어 진다는 정보를 추출하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 물론 공정 설계자에 의해 세부공정 내용이 수정 가능하며 이렇게 설계된 내용은 FBS사례 및 공정방법에 따른 세부공정 DB에 저장된다. 위에 과정을 통하여  $bonding(base\ metal, SiOB)$  세부공정은 다음과 같이 설계 된다.

$$\begin{aligned}
 b_{new1} &= (load(base\ metal), load(SiOB)) \\
 b_{new2} &= (load(SiOB), bonding(base\ metal, SiOB)) \\
 b_{new3} &= (bonding(base\ metal, SiOB), unload(assembly)) \\
 b_{new4} &= (unload(assembly), null)
 \end{aligned}$$

### 4. 사례 재사용 및 장비선택 규칙

#### 4.1 신경망 이론을 이용한 사례 재사용

선택된 유사 사례를 이용하여 새로운 문제의 해결책을 찾는 과정을 사례 재사용 과정이라 한다. 이 과정은 기존의 사례와 새로운 문제가 동일하기 때문에 과거 사례의 해결책을 새로운 문제의 해결방안으로 그대로 이용하는 copy방법과 기존의 사례와 상이하므로 과거의 사례의 해결책을 변환하여 새로운 문제의 해결방안으로 이용하는 adaptation방법으로 나뉜다[2]. 본 논문에서는 각 세부작업 시간 결정에 신경회로망을 이용한 adaptation방법을 제시한다. 다층 퍼셉트론 신경망을 백프로퍼게이션 알고리즘으로 구현했다. 백프로퍼게이션 학습 알고리즘은 오차를 정정하는 규칙으로서, 입력에 대해 원하는 반응과 실제로 얻어진 것들에 대한 차이를 줄여 나가는 데 목적이 있다. 다층 퍼셉트론이란 입력 층과 출력 층 사이에 하나 이상의 중간층이 존재하는 신경 망으로 그림 7에 나타낸 것과 같은 계층 구조를 갖는다.

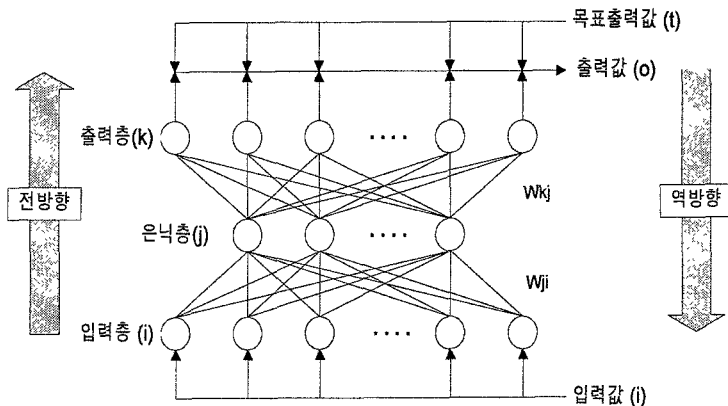


그림 7. 다층 퍼셉트론의 구조



신경망 모델에 앞서 공정시간에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 추출하였다. 표1은 welding공정인 경우 공정시간에 영향을 미칠 수 있는 요소를 선택하였다.

표 1. 신경망에 사용하기 위해 선택된 요소

선택된 요소	설 명
용접방법	내면,외면
가스종류	아르곤,CO2
직경	12.5,38.1,42.7,48.6, 54,65,85φ

공정시간을 산출하기 위해 백프로퍼게이션 알고리즘을 이용하였는데, 표 2처럼 구성하였다. 이때 은닉층은 하나이며 처리요소 개수는 1개이다.

표 2 신경망 입력노드와 출력노드의 구성

구분	요소
입력요소	용접방법 1개,가스종류 1개,직경 1개
출력요소	공정시간

구현된 알고리즘을 이용하여 문제의 해를 구한 공정시간 산출 예를 표3에 제시하였다. 이는 출력(공정시간)의 오차가 0.1이 될 때까지 입출력 패턴을 2497회씩 제시하여 학습한 후에 얻어진 것이다. 네트워크 학습계수는 0.5로 했다.

표 3. welding 공정시간 산출 예

Input Units	Output Value
내면, 아르곤, 12.5φ	4.6초
내면, 아르곤, 38.1φ	9.6초
내면, 아르곤, 65φ	15.76초

## 4.2 공정 수행 장비선택

새로운 공정이 입력되면 입력된 문제에 대한 유사사례 선택 및 사례 재사용 과정을 거치고 나서 세부작업 수행장비를 선택해야 한다. 세부작업 수행장비를 결정한다는 것은 해당 세부작업에 대해서 과거에 사용되었던 유사 장비를 선택하는 것을 의미한다. 본 논문에서는 새로운 공정이 입력되었을 때 공정명과 공정 방법의 동일 여부에 따라 machine knowledge DB를 탐색하여 장비를 선택한다. 반면에 공정방법이 상이한 경우에는 새로운 장비를 설계한다. 장비선택은 production rule의 형태로 정의된 규칙들을 통하여 선택이 되는데 이때 production rule을 다음과 같이 정의하였다.

*if(세부작업명 ^ 부품명)*  
*then(장비명)*

예를 들어 세부작업 *load(basemetal)* 공정을 수행할 장비는 다음 rule에 의해 선택되어진다.

```
if((process = load(basemetal) ^ (part = basemetal))
then(machine = loading / unloading_Robot)
```

즉, *load(basemetal)* 공 loading / unloading robot에 의해 수행된다.정은

## 5. 시스템 구현

### 5.1 유사사례 선택 구현부분

본 논문의 자동 공정설계 프로그램은 Visual C++ 6.0와 Microsoft SQL 7.0을 이용하여 구현하였다. 그림8은 사례기반 추론을 이용한 공정설계 프로그램의 초기 화면으로 사용자는 설계하고자 하는 공정 명과 사용부품을 선택하고 유사사례 선택 버튼을 사용하여 유사 사례 선택을 하게 된다.

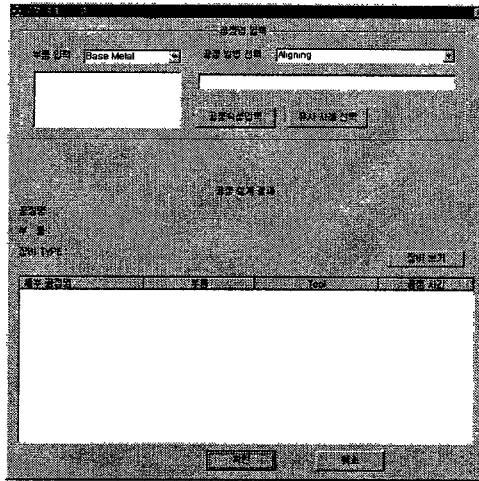


그림 8. 공정설계 초기화면

먼저 사례 데이터베이스에 동일한 공정 사례가 존재할 경우의 예를 그림 9에 도시하였다. 다음으로 공정사례가 존재하지 않고 공정 방법이 동일한 경우와 공정방법이 상이한 경우의 예를 그림 10과 11에 각각 도시 하였다.

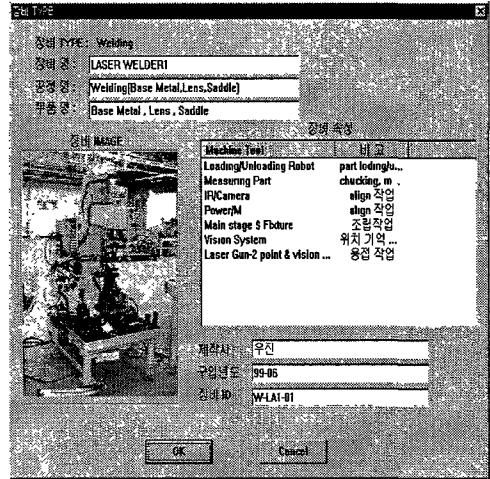
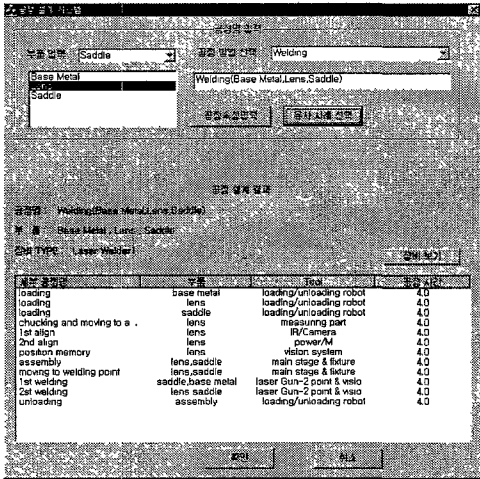


그림 9. 공정설계 결과 화면 및 장비 선택 화면

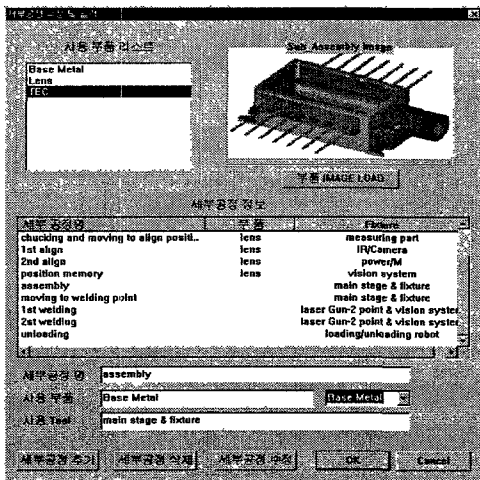


그림 10. 세부공정 수정 화면

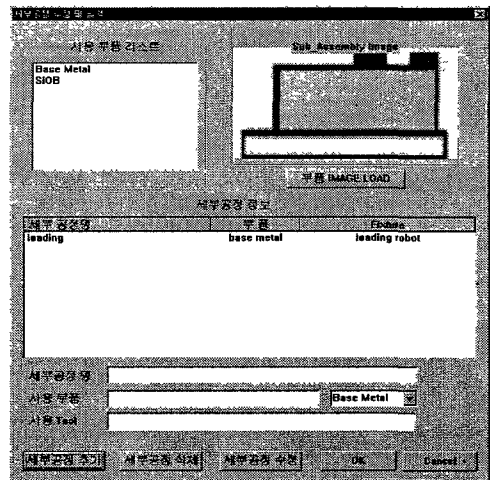


그림 11. 새로운 공정 설계 화면

## 5.2 공정시간 산출을 위한 사례제사용 구현 부분

공정 시간 산출을 위해 백프로퍼게이션 학습 알고리즘을 구현한 화면을 그림 13에 제시하였다. 학습에 필요한 Training set 설정, 학습과정, 학습 후 Training set에 대한 테스트, 공정시간 예측 부분으로 구성되어 있다. 그림 12은 welding공정에 적용했을 때의 예이다.

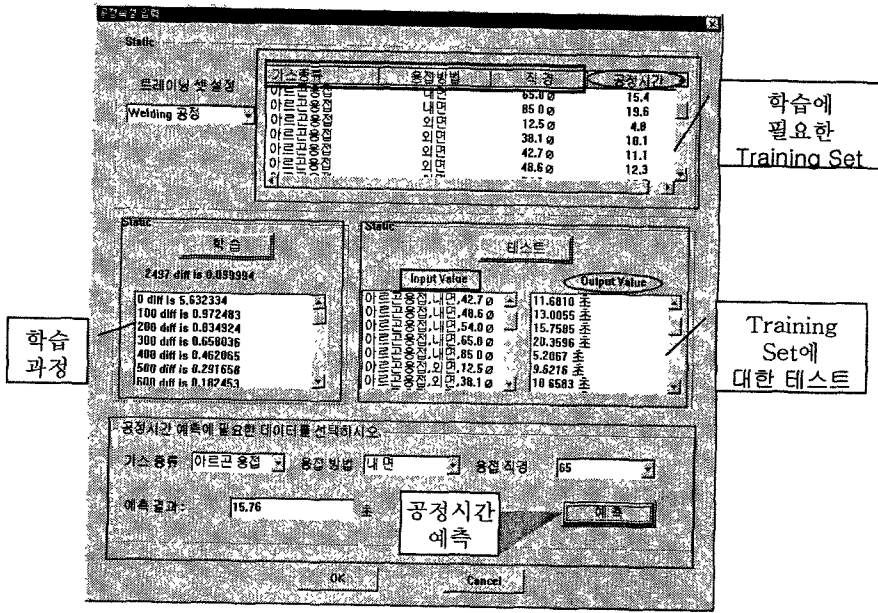


그림 12. 공정시간 예측 화면

### 6. 결론

본 연구는 되도록 인간의 참여를 최소화하며, 현장에 적용가능한 자동공정설계 방법에 대하여 논하였다. 이를 위해서 사례기반추론 기법을 도입하였다. 특히 제품설계의 심층지식을 표현하는데 이용되고 있는 function-behavior-structure 모델을 도입하여 공정 사례들을 표현하였고 공정명과 공정방법 그리고 부품의 유사정도에 따른 유사 사례 유도방법을 제시하였다. 또한 공정시간을 산출하기 위한 case adaptation 부분에서는 신경망 이론 중에 하나인 백프로퍼게이션 알고리즘을 이용하여 구현하였고 장비 선택 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 단순한 형태의 공정설계에 사례기반추론 기법을 이용하였기 때문에 복잡한 과정을 거치는 공정들에 대한 공정 설계일 경우에는 이용에 한계가 있다고 할 수 있다. 그리고 유사사례 선택 시 공정명과 공정 방법이 상이한 경우에는 세부공정을 설계자가 직접 작성해야 한다. 또한 사례제사용과정에서 부품 형상에 따른 다양한 공정설계 변화 요인들을 정의하지 못하였고 장비 선택과정에서 부품의 사양변화에 따른 장비의 형태 및 jig/fixture 등의 변화에 대한 case adaptation knowledge를 정의하지 못하였다.

본 연구의 향후 연구과제로서는 장비선택 시 사용자가 단순히 기존의 유사 장비를 선택하는 것이 아닌 부품의 사양변화 및 공정방법의 변화에 따른 장비의 형태 및 jig/fixture 등을 설계할 수 있는 정보를 제공할 수 있는 방안을 고려해야 한다.

## 참고문헌

1. Aamodt, A and Plaza, E., 1994, "Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approach," *AI Communications*, IOS Press, Vol. 7, No. 1, 39-59.
2. Alexandre, F. *et al.*, 1995, "Case-Based Reasoning and Neural Networks Intégration," *Technical Report IMAG& INRIA*, MIX project deliverable D3.
3. Bardasz, T. and Zeid, I., 1993, "DEJAVU: Case-Based Reasoning for Mechanical Designs," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 7, No.2, 111-124.
4. Faltings, B. and Kun Sun, 1996, "FAMING : Supporting innovative mechanism shape design," *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 3, 207-216.
5. Faltings, B., 1997, "Case Reuse by Model based Interpretation," in M.L.Maher and P.Pu(ed), *Issues and Applications of Case-Based Reasoning in Design*, Lawrence Erlbaum Association, London, pp. 39-60.
6. Karsal, G., Andersen, K., Cook, G.E., and Barnett, 1992, "Neural network methods for the modeling and control of welding processes," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.3, 229-235.
7. Keuneke, A. M., 1991, "Device Representation : The Significance of Functional Knowledge," *IEEE Expert*, Vol. 6, No.2, 22-25.
8. Knapp, G.M., and Wang, H., 1992, "Acquiring, storing and utilizing process planning knowledge using neural networks," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.3., 333-344.
9. Laurene F., 1994, "Fundamentals of Neural Networks," Prentice Hall International, Inc.
10. Lee, H., Malave, C.O., and Ramachandran, S., 1992, "A Self-organizing neural network approach for the design of cellular manufacturing systems," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.3, 325-332
11. Qian, L. and Gero, J.S., 1996, "Function-behavior-structure paths and analogy-based design," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 10, 289-312.
12. Sun, S.H. and Chen, J.L., 1995, "A Modular Fixture Design System based on Case-Based Reasoning," *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, Vol.10, 389-395.
13. Yang, H. , Lu, W.F. and Lin, A.C, 1994, "PROCASE: a case-based process planning system for machining of rotational parts," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 5, 411-430.
14. Vellanki, M., and Dagli, C.H., 1993, "Artificial neural network approach in printed circuit board assembly," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.4., 109-119.
15. 김대수, 1998, "신경망 이론과 응용(1)", pp.91-144.

16. 서윤호, 김용태, 1998, “사례기반 추론을 이용한 BOM의 자동설계”, 대한 산업공학회/  
한국 경영 과학회 98 춘계 공동학술대회 논문집