한국정밀공학회지 제 21 권 제 7 호 (2004 년 7 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 21, No. 7, July 2004.

사례기반 추론을 이용한 블록조립계획

신동목#, 김태운*, 서윤호**

Generation of Block Assembly Sequence by Case Based Reasoning

Dongmok Sheen#, Taewoon Kim*, Yoonho Seo**

ABSTRACT

In order to automatically determine the sequences of block assembly operations in shipbuilding, a process planning system using case-based reasoning (CBR) is developed. A block-assembly planning problem is modeled as a constraint satisfaction problem where the precedence relations between operations are considered constraints. The process planning system generates an assembly sequence by adapting information such as solutions and constraints collected from similar cases retrieved from the case base. In order to find similar cases, the process planning system first matches the parts of the problem and the parts of each case based on their roles in the assembly, and then it matches the relations related to the parts-pairs. The part involved in more operations are considered more important. The process planning system is applied to simple examples for verification and comparison.

Key Words : Block Assembly (블록조립), Welding(용접), Process Plan (공정계획), Case-Based Reasoning (사례기반 추론), Similarity (유사도), Constraint Satisfaction Problem (제약조건 만족 문제)

기호설명

P : parts to be assembled
C(p_i,p_j) : relations between two parts, (p_i,p_j)
N(R) : constraints on relation set **R**
S : solution set satisfying **N(R)**
C_k : a case
A : problem to solve

1. 서론

공정계획은 설계에 명시된 제품을 생산하기 위한 공정 및 순서, 셋업 방법, 설비, 공정조건 등을 정하고 공정별 공수산정, 작업지시서 발행 등의 기능을 한다. 수작업에 의한 공정계획은 주관적이 될 수 있고 일관성이 결여될 수 있다는 단점을 안고 있기 때문에 공정계획에 필요한 전문지식을 지식베이스화 또는 논리화하여 이를 자동화한 CAPP (Computer Aided Process Planning) 시스템으로 구축함으로써 공정계획 전문가를 대체하려는 노력이 진행중이다. 현재 제조업체에서는 공정계획에 필요한 현장 경험지식을 갖춘 전문인력은 고령화하고 있는 반면, 현장 작업 기피로 인하여 새로운 전문가의 배출은 점점 적어지고 있는 형편이다.

접수일: 2003 년 11 월 27 일; 게재승인일: 2004 년 4 월 9 일
교신저자, 울산대학교 수송시스템공학부
Email dmsheen@ulsan.ac.kr Tel. (052) 259-2152
* 경성대학교 산업공학과
** 고려대학교 산업공학과

CAPP 시스템은 흔히 변성형(Variant type)과 창생형(Generative type)으로 나뉘며, 발전된 시스템으로는 CAD 모델을 자동 인식하여 자체적으로 공정계획에 필요한 데이터 구조로 변환하는 즉, 형상인식 기능을 갖춘 자동 공정계획 시스템이 연구되고 있다. 변성형 시스템은 GT(Group Technology)에 기반을 둔 시스템으로 공정 관점에서 유사한 형상을 갖춘 부품들을 부품군으로 묶은 후, 이에 대한 표준 공정계획을 저장하는 준비단계와 공정계획 대상부품이 속할 부품군을 찾아 해당 표준 공정계획을 추출한 후 이를 수정하는 방법으로 공정계획을 수립하는 실행단계로 나뉜다. 현재는 전문가 시스템 기법이나 사례기반 추론 방법을 이용한 시스템이 많이 연구되고 있다. 창생형 공정계획시스템은 각 부품을 구성하는 형상정보를 자동 혹은 수동으로 입력한 후, 각 형상 부위에 대한 공정을 추론하고 추론된 공정들 사이의 기하학적 관계, 공차, 공정 특성 등에 따라 공정순서를 결정하는 방법이다. 창생형 방법은 상세한 공정계획을 수립할 수 있는 장점이 있는 반면 필요로 하는 입력 데이터의 양이 많아서 비실용적이므로 형상정보를 CAD 모델로부터 자동으로 추출하는 기능을 갖춘 자동 공정계획에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. CAD 모델로부터 형상정보를 얻기 위한 방법으로는 형상기반 설계에 의존하는 방법(Feature-based design)과 일반 CAD 모델로부터 기하학적 추론 기법을 통하여 형상정보를 추출하는 방법(Feature extraction)이 사용된다.

일반 기계부품 분야에서 주로 절삭가공을 중심으로 공정계획에 관한 연구가 이루어지고 있는 반면 [1-2], 조선분야에서 CAPP 가 적용되는 분야는 블록분할 공정계획 [3-4], 가공 공정계획, 조립공정 계획 [5-7], 탑재공정계획 등을 들 수가 있으나 그 연구 사례가 많지는 않은 편이다. 그 중에서 블록 분할과 조립 공정계획에 대한 연구를 살펴보면 3 차원 CAD 시스템을 이용한 블록 분할 방법 [3], 형상정보 자동 추출에 관한 연구 [4] 와 공정계획 자동수립 [5-6] 에 관한 연구들이 진행되어 왔다. 형상 추출에 관한 연구로는 선각 모델로부터 블록을 분할하여 자동으로 블록에 대한 솔리드 모델을 생성하는 방법에 대한 연구와 분할 과정에서 구성 부재들을 인식하고 이들간의 관계를 자동으로 추출함으로써 블록 조립 공정계획 및 자재 소요계획에 활용할 수 있도록 하는 연구 [4] 를 들 수 있다. 공정 및 순서 결정 등에 관한 연구로는 부재간 결합 정보를 그래프 형태로 표현한 후 사례기반 추론(Case Base Reasoning)을 이용하는 방법 [5] 과 그래프 이론을 이용하여 추론하는 방법 [7], 전문가 시스템을 이용하는 방법 [6] 등이 발표되었다.

본 연구에서는 블록조립 공정계획을 자동화하기 위하여 공정계획 사례를 사례기반으로 구축하고 주어진 문제를 이를 참조하여 제약조건 만족 문제로 해결하는 사례기반 추론 시스템을 제안한다.

2. 블록조립 공정계획 시스템 개요

선체를 구성하는 블록들은 선종· 선형은 물론 부위별로 구성부재 및 조립 순서가 다르다. 예를 들어 선체 중앙부의 경우 double bottom, hopper tank, side structure, top side tank, deck structure, bulkhead 등의 단위 블록들로 구성되며 이들은 구성부재의 형태 및 수량이 다른 만큼 조립 순서가 다르다. 따라서, 조립 공정계획을 자동으로 수립하기 위해서는 각각의 블록 형태에 따라 개별적인 조립 규칙 및 추론 방법이 필요하다.

블록은 기본적으로 플레이트, 거더, 스티프너 등이 결합된 형태로 [8] 공간상의 간섭 회피, 공정 중 변형 최소화 등의 원칙에 의하여 조립 순서가 결정된다. 블록 분할에서 조립공정 계획에 이르는 과정을 완전자동화 하기 위해서는 CAD 에서 작성된 블록모델로부터 블록을 구성하는 부재들에 대한 정보를 추출하고 이들 부재들간의 연계 정보를 해석하여 조립 순서를 정하여야 한다. 본 연구에서는 조립작업에서 가장 기본적인 형태인 단위블록을 대상으로 하여 블록조립 사례기반을 구축하고 이를 이용하여 공정계획을 도출하는 사례기반 추론 방식의 공정계획 시스템을 구축하고 적용 가능성을 살펴보고자 한다.

3. 사례기반 추론

3.1 사례기반 추론 개요

사례기반추론 (Case Based Reasoning; CBR) 기법은 지식을 사례 형태로 저장한다. 하나의 사례는 문제 정의 및 해로 구성되며, 사례기반 시스템은 주어진 문제에 대한 유사사례(들)을 검색한 후 이를 문제에 적응(adaptation)시키는 방법으로 해를

구한다[9].

유사한 사례를 검색하는 방법은 사례기반의 인덱싱 방법과 연관된다. 사례기반의 검색 키가 되는 인덱싱 방법은 주어진 문제의 속성들을 기준으로 사례들을 분류한 후 리스트 혹은 트리 형태로 구성하는 묘사적 방법 (descriptive scheme)과 사례 구성요소들 간의 연관관계를 FBS (Function, Behavior, Structure) 모델, 인과관계 (causal relationship) 모델, 정성적 모델(qualitative model) 방법 등을 이용하여 정형화하여 이를 키로 사례기반을 구성하는 연관성 방법 (relationship scheme)으로 구별할 수 있다.[10] 연관성 방법을 이용할 경우 속성 값 대신 구성요소들 간의 관계를 기반으로 사례를 검색할 수 있으므로 사례의 구성요소들 간의 관계가 동일한 모델로 표현된다면 다른 적용분야의 사례를 활용할 수도 있다. 예를 들어 기계부품 조립 문제를 푸는 데 건축 사례를 활용할 수도 있다. 묘사적 방법을 이용할 경우 속성별로 관련 사례들을 분류한 후 흔히 이들에 대한 포인터를 리스트 혹은 트리 형태의 자료구조로 별도 관리함으로써 유사 사례를 빠르게 검색할 수 있다. 반면 연관성 방법은 단순히 속성값들에 따라 유사사례를 검색하지 않고 속성들간의 관계를 고려하므로 설계 문제와 같이 복잡한 분야에 적합하다고 알려져 있다.

유사한 사례가 검색되면, 초기 해는 유사사례의 해를 복사한 형태가 된다. 초기해가 만족스럽지 못할 경우 적응 단계를 거쳐 문제를 해결하게 되며, 이 단계에서 일반화된 규칙을 사용하는 전문가 시스템[11]을 이용하기도 한다.

Cho 등[5]은 사례기반 추론을 조선블록조립 공정계획에 적용하였는데 사례기반을 묘사적 방법을 이용하여 구축하였다. 선종, 선형별로 사례들을 분류하여 트리구조로 사례기반을 구축한 후 문제가 주어지면 해당 선종, 선형을 키로 하여 검색하는 방법으로 유사사례를 찾고 있다. Pu 와 Purvis[12] 는 기계부품 조립 문제에 사례기반추론을 적용하였는데, 각각의 사례를 제약 만족 문제로 표현하고 유사사례를 연관성 방법의 일종인 구조비교 (structural mapping) 방법을 사용하여 검색한다. 부품들간의 조립관계 종류 (INSIDE, SHAFT-HOLE 등으로 표현) 비교를 통하여 유사사례를 찾은 후 대응되는 부품을 찾는다.

본 연구에서는 조선 블록조립 순서 결정을 위하여 사례기반 공정계획 시스템을 구현한다. 묘사적 방법에 의하여 사례기반을 구축할 경우 선종 및 선형은 다르나 조립공정 측면에서 유사한 블록의 사례를 활용할 수 없다. 반면에 Pu 와 Purvis[12] 와 같은 구조 비교 방법을 사용할 경우 조선 블록조립 공정에서는 부재들간의 관계가 필렛 용접, 버트용접, 관통의 세 가지 밖에 없기 때문에 모든 블록조립 사례들이 유사한 사례로 검색되게 된다. 본 연구에서는 부재들 간의 접합관계 종류 및 접합에서 부재의 역할이 동일한 경우 유사한 결합관계로 보고 문제와 사례간 유사한 결합관계들의 수를 기반으로 유사도 지수를 계산하며 이를 기준으로 유사사례를 검색한다.

3.2 사례 표현

본 연구에서는 하나의 조선 블록 조립 사례를 다음과 같이 정형화하여 표현한다.

$$C_k = \{\mathbf{P_k}, \mathbf{R_k}(p_i, p_j), \mathbf{N_k}(\mathbf{R_k}), \mathbf{S_k}(\mathbf{R_k})\} \quad (1)$$

여기서, C_k 는 하나의 사례를 표시하며, $\mathbf{P_k}$ 는 조립대상 부품들, $\mathbf{R_k}(p_i, p_j)$는 $\mathbf{P_k}$ 에 속하는 두 부품 p_i, p_j 들 간의 접합관계들 집합, $\mathbf{N_k}(\mathbf{R_k})$는 관계 집합 $\mathbf{R_k}$ 에 속한 관계들 간의 제약조건들 집합, $\mathbf{S_k}(\mathbf{R_k})$ 는 조립 순서 해(들)을 나타낸다. 따라서, 사례기반(**B**)은 사례들의 집합으로 $\mathbf{B}=\{C_k\}$와 같이 나타낼 수 있다.

반면, 하나의 블록 조립문제는

$$\mathbf{A} = \{\mathbf{Q_A}, \mathbf{R_A}(q_i, q_j), \mathbf{N_A}(\mathbf{R_A}), \mathbf{S_A}(\mathbf{R_A})\} \quad (2)$$

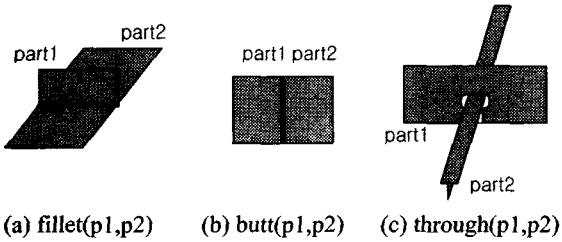
와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, $\mathbf{Q_A}$는 조립대상 부품들, $\mathbf{R_A}(q_i, q_j)$는 $\mathbf{Q_A}$에 속하는 두 부품 q_i, q_j 들 간의 접합관계들 집합을 나타내며, 제약조건 $\mathbf{N_A}(\mathbf{R_A})$와 해 $\mathbf{S_A}(\mathbf{R_A})$는 공정계획 결과로 얻고자 하는 집합이다. 따라서, 사례기반 추론을 이용하여 블록조립 순서를 결정하는 문제는 유사한 사례 집합 $\mathbf{B_s} \in \mathbf{B}$ 로부터 $\{\mathbf{N_A}(\mathbf{R_A}), \mathbf{S_A}(\mathbf{R_A})\}$를 찾는 것이라고 할 수 있다.

Table 1 은 전술한 표현 방식에 의거하여 표현된 사례를 예시한다. 하나의 사례는 조립대상 부품들을 기술하는 parts 부, 접합관계들을 표시하는 relations 부, 각 접합관계들 간의 제한조건을 나타내는 constraints, 그리고 사례에 대한 해에 해당되

는 solutions 부로 이루어진다. Table 1 의 사례에서 parts 부를 보면 부품 r1 의 경우 rib 종류이며 p1 은 plate 종류임을 나타낸다. 블록조립에서 접합관계는 버트(butt welding), 필렛(fillet welding), 관통(through fit)으로 나뉜다. Fig. 1 은 각각의 접합관계를 예시한다. 필렛과 관통의 경우 부품 순서가 의미를 갖는다. 즉 fillet(p1,p2)와 fillet(p2,p1)은 관련 부품들의 역할이 다른 접합관계이다. 접합조건들 사이에는 기하학적 간섭조건, 조립 순서에 따른 변형관계, 기타 경험 규칙에 따라 선행관계 및 동일순서 그룹관계가 정의되며, 조립이 진행됨에 따라 두 개의 접합 관계 중 하나만 필요한 대체 관계 등이 정의된다.

Table 1 An example case

begin-case	
begin-parts	begin-constraints
r1 rib	< v6 v10
r2 rib	< v9 v11
p1 plate	= v2 v3
...	.....
end-parts	OR v8 v9
begin-relations	end-constraints
v1 butt p1 p2	begin-solutions
.....	v1 v3 v2 ... v9 ...
v9 through g2 r2	end-solutions
v10 fillet g1 p1	end-case
v11 fillet g2 p2	
end-relations	



(a) fillet(p1,p2) (b) butt(p1,p2) (c) through(p1,p2)

Fig. 1 Joint types

Table 1 에 제시한 사례를 참조하여 제한조건 표현방법을 보면 "< v9 v11"는 g2 부품을 p2 부품에 필렛 용접하는 접합관계(v11)는 g2 부품을 r2 부품에 관통하는 접합관계(v9) 후에 수행되어야 함을 나타낸다. 또한 "= v2 v3"는 접합관계 v2 와 v3 가 둘이 하나의 그룹 작업으로 둘 사이에는 선행관계는 없으나, 다른 작업이 중간에 삽입되지 말아야 함을 의미하며, "OR v8 v9"는 v8 과 v9 중 하나만 수행하면 조립관계 상 나머지는 자동 수행되어 따로 수행할 필요가 없어지는 관계를 표시한다. 하나의 해는 관계변수들의 순서 있는 집합으로 나타내며, 각 관계변수의 위치가 해당 관계변수의 값을 나타낸다. Table 1 에서 v1=1, v3=2, v2=3 임을 알 수 있다.

본 연구에서는 사례기반 추론 시스템을 미 항공우주국에서 개발한 전문가 시스템 쉘인 CLIPS[13]를 이용하여 개발하였다. CLIPS 는 LISP 과 같이 리스트 처리가 가능한 언어로 다음은 CLIPS 를 이용하여 사례를 정의하는 부분을 보여준다.

```
(deftemplate MAIN::case
    (slot id   (type SYMBOL))   ; case id number
    (multislot parts (type FACT-ADDRESS SYMBOL)
          (allowed-symbols none))   ; parts
    (multislot relations
          (type FACT-ADDRESS SYMBOL)
          (allowed-symbols none))   ; mating relations
    (multislot constraints
          (type FACT-ADDRESS SYMBOL)
          (allowed-symbols none))
    (multislot solution
          (type FACT-ADDRESS SYMBOL)
          (allowed-symbols none)) ; ordered list of
          relations)
```

하나의 블록 조립 사례는 구성부재들 리스트 (parts), 부재들간의 관계 리스트 (relations), 관계들간의 선후 관계 조건 리스트 (constraints), 사례 해들의 리스트 (solution)로 이루어 진다. 각각의 리스트는 하나의 slot 으로 구성되며, 관련 Fact 주소 또는 리스트가 비어있음을 나타내는 지정된 심볼 none 을 값으로 갖는다. 다음은 이와 같이 사례 구조가 정의된 상태에서 본 시스템 실행 중 검색된 한 사례의 일부분을 보여준다. 각 리스트들에는 관련된 Fact 들의 주소가 기록되어 있다.

(case (id gen32)
(parts <Fact-134> <Fact-138> ...)
(relations <Fact-167> <Fact-168> ...)
(constraints <Fact-141> <Fact-143> ...)
(solution <Fact-165>))

3.3 공정계획 절차

본 연구에서 개발한 사례기반 추론을 이용한 블록조립 공정계획 시스템은 다음과 같은 순서로 공정계획을 수립한다. 다음 중 (1) 단계의 유사사례 검색은 3.4 절에, (2-2) 단계의 접합관계 대응은 3.5 절에 자세히 설명한다.

공정계획

(0) 문제 정의. $A = \{\mathbf{Q}_A, \mathbf{R}_A(q_i, q_j), \mathbf{N}_A(\mathbf{R}_A), \mathbf{S}_A(\mathbf{R}_A)\}$

(1) 유사사례 검색.
검색된 사례 집합을 $\mathbf{B}_s$라 정의.
여기서, $\mathbf{B}_s$ 는 유사도가 높은 사례부터 낮은 사례순서로 정렬된 집합이다.

(2) $\mathbf{B}_s$에 속한 사례가 n 개 있다고 할 때,
k = 1 .. n 동안 (2-1) ~ (2-4) 반복.
(2-1) $\mathbf{B}_s$의 첫 번째 사례 C_k를 $\mathbf{B}_s$에서 제거.
(2-2) (A,C_k) 간 접합관계 대응. A 의 관계 집합 $\mathbf{R}_A$에 대한 대응 결과 집합을 $\mathbf{R}_k$라 정의.
(2-3) C_k 의 제약조건 $\mathbf{N}_k(\mathbf{R}_k)$ 및 해 $\mathbf{S}_k(\mathbf{R}_k)$로부터 문제 A 에 대한 제약조건 $\mathbf{N}_k(\mathbf{R}_A)$ 및 해 $\mathbf{S}_k(\mathbf{R}_A)$ 생성.
(2-4) $\mathbf{N}_k(\mathbf{R}_A)$이 기존의 해 $\mathbf{S}_A(\mathbf{R}_A)$와 모순이 있을 경우 해당되는 관계변수 $\mathbf{R}_A$ 값 조정. 조정된 $\mathbf{R}_A$ 값을 반영하여 $\mathbf{S}_A(\mathbf{R}_A)$ 수정. $\mathbf{N}_A(\mathbf{R}_A)$에 $\mathbf{N}_k(\mathbf{R}_A)$ 추가.

(3) $\mathbf{R}_A$ 중 값이 할당되지 않은 관계변수에 대하여 임의의 값 할당.

(4) 공정계획 결과 $\mathbf{S}_A(\mathbf{R}_A)$에서 유사 공정 그룹핑.

(5) 공정계획 결과 $\mathbf{S}_A(\mathbf{R}_A)$ 편집.

3.4 유사사례 검색

주어진 문제와 유사한 사례를 검색하기 위하여 다음과 같이 문제(A)와 사례(C)간 유사도 지수 S_{AC}를 정의하였다.

$$S_{AC} = \frac{Num(\{type(R_A)\} \cap \{type(R_C)\})}{Num(\{type(R_A)\} \cup \{type(R_C)\})} \quad (3)$$

여기서, Num(.)은 괄호 안의 집합의 개체 수를 의미하며, {}은 집합, 집합 요소인 type(R)은 접합관계 R 의 이름, 첫 부품 종류, 두 번째 부품 종류를 연결한 값을 심볼로 갖는다. 예를 들어 R = fillet(a,b)이고 부품 a 가 rib, 부품 b 가 plate 이면, type(R)은 filletribplate 가 된다. 즉, 결합 종류와 관계된 부품 종류 및 결합에서의 부품의 역할이 같으면 유사공정으로 생각하여 type 함수를 취할 경우 동일한 값을 갖게 된다. 식 (3)을 기준으로 일정 기준값을 넘는 사례들은 순서대로 정렬한 후, 최고로 유사한 사례는 기준사례로 나머지 사례들은 참조사례로 해를 구하는 데 사용된다.

3.5 접합관계 대응

유사사례를 주어진 문제에 적용하기 위해서는 제약조건 및 해를 대응시켜야 한다. 즉, 주어진 문제에 정의된 접합관계들이 사례에서 예시된 어떠한 접합관계들과 각각 유사한 지를 찾아야 한다. 본 연구에서 사용되는 접합관계는 버트, 필렛, 관통의 3 가지 밖에 없기 때문에 Pu and Purvis 의 연구 [12] 에서와 같이 관계이름만을 이용한 구조대응 방법을 사용할 경우 수많은 N:N(다대다) 대응관계가 발생되어 연관된 접합관계를 찾기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 접합관계 및 접합관계에서의 부품의 역할을 기준으로 부품간 대응을 한 후에 접합관계 간 대응을 한다. 부품간 대응을 위하여 각각 문제와 사례에 속하는 두 개의 부품 q_i 와 p_j 간 유사도 T_{ij}는 다음 식 (4)와 같이 정의한다.

$$T_{ij} = \frac{Num(\{type_pos(R_A,i)\} \cap \{type_pos(R_C,j)\})}{Num(\{type_pos(R_A,i)\} \cup \{type_pos(R_C,j)\})} \quad (4)$$

여기서, type_pos 함수는 부품 종류, 결합종류, 결합에서의 부품 역할(위치), 상대 부품 종류를 연결한 것이다. 예를 들어 rib 부품 r 이 plate 부품 p 에 필렛 용접되는 관계 fillet(r,p)가 있다면, 부품 r 에 대한 type_pos 함수 결과는 ribfillet1plate 가 된다. 부품 대응 시에는 가장 많은 접합관계에 연관된 부품을 주요 부품으로 정의하여 주요부품부터 대응을 하게 된다. 이를 알고리즘으로 나타내면 다음과 같다.

접합관계 대응

1. 부품 대응
(1) 문제와 사례에 속한 부품들을 중요도에 따라 정렬하여 이를 각각 $\mathbf{Q'}_A$, $\mathbf{P'}_C$라 정의.
(2) $\mathbf{Q'}_A$ 의 첫 번째 부품 $\rightarrow q_i$
$\mathbf{Q'}_A$에서 q_i 제거.
(3) 각각의 $p_j \in \mathbf{P'}_C$에 대하여 유사도 T_{ij} 계산
(4) 만약 (q_i, p_j) 쌍이 최대 유사도를 갖는다면,
(q_i, p_j) 쌍을 대응 쌍으로 규정.
(q_i, p_j) 쌍을 $\mathbf{P}_m$ 에 삽입
여기서, $\mathbf{P}_m$ 은 대응이 이루어진 부품 쌍 집합.
$\mathbf{P'}_C$에서 p_j 제거.
(5) 전이관계에 의하여 연계된 쌍 찾기.
동일한 관계종류를 갖고 대응 부품 쌍(q_i, p_j)와 연계된 $[f(q_i, v_k), f(p_j, w_l)]$, 또는 $[f(v_k, q_i), f(w_l, p_j)]$ 쌍을 찾는다.
(v_k, w_l)을 대응 쌍으로 규정. (v_k, w_l)을 $\mathbf{P}_m$ 에 삽입
$\mathbf{Q'}_A$에서 v_k 제거. $\mathbf{P'}_C$에서 w_l 제거.
(6) $\mathbf{Q'}_A$가 공집합이 될 때까지 (2)~(5) 반복.

2. 접합관계 대응
(1) 문제에 대한 접합관계 집합 R_A 의 첫 번째 접합관계를 $R_{Ai}(q_j,q_k)$라 정의.
(2) 사례에 정의된 임의의 접합관계 $R_r(p_s,p_t)$에 대하여 $R_{Ai}(q_j,q_k)$와 접합관계 종류가 같고 $\{(q_j, p_s), (q_k, p_t)\} \subset \mathbf{P}_m$이면 $(R_{Ai}(q_j,q_k), R_r(p_s,p_t))$ 쌍을 $\mathbf{R}_m$에 삽입. 여기서 $\mathbf{R}_m$ 은 문제와 사례 사이에 대응이 이루어진 관계 쌍의 집합이다.
(3) $R_{Ai}(q_j,q_k)$를 R_A 에서 제거. $R_r(p_s,p_t)$ 를 R_C 에서 제거.
(4) (1)~(3) 반복

3.6 사례 결과 적응

접합관계 대응이 끝나면, 사례로부터 제약조건과 해를 복사한 후 대응되는 관계변수로 대체한다. 해에서 접합관계 변수의 위치는 그 변수의 값을 나타낸다. 만약 대응된 접합관계 변수의 값이 현재의 해에 할당된 변수의 값을 위배할 경우에는 복사한 제약조건과 현재까지 누적된 제약조건이 충돌이 일어나지 않도록 접합관계 변수의 값을 변경한다. 예를 들어 기존의 해에서 접합관계(공정)가 v1, v2, v3 의 순서로 진행된다고 하면 접합관계 변수들은 $v1 < v2 < v3$ 의 크기로 값을 갖는다. 이때, 복사한 제약 조건에 (< v2 v1)이 있으면 모순이 발생한다. 그러나 기존에 다른 사례로부터 누적된 제약조건으로 v1, v2, v3 사이의 제약조건으로 (< v1 v3) 만 있으면, 해에서 v1, v2 의 위치를 바꾸어도 기존의 제약조건을 위배하지 않으므로 해에서 공정순서를 v2, v1, v3 로 수정한다.

3.7 유사공정 그룹핑

사례기반 추론을 통하여 수립된 공정계획 결과에서 유사한 공정은 그룹핑 과정을 통하여 공정순서를 그룹핑한다. 이는 사례기반 추론 결과 동일한 순서에 올 수 있는 여러 개의 공정 중에서 동일 부품이 관련된 공정을 연속적으로 수행하기 위함이다. 그룹핑 공정 대상이 되는 유사공정은 *fillet, through* 공정으로 첫 번째 부품 즉, fillet 되는 부품 또는 관통하는 부품의 경우 동일 순서에 작업을 수행토록 한다. 이를 기호를 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$X(q,r), X(q,s) \Rightarrow \{X(q,r), X(q,s)\} \quad (5)$$

여기서, X 는 fillet 또는 through 공정을 의미하며, q, r, s 는 부품을 의미한다. 대괄호로 묶은 것은 두 공정을 연속으로 행해야 함을 표시한다.

3.8 사례 적용 예

본 연구에서 개발한 시스템을 간단한 예에 적용하여 보았다. Fig. 2 는 두 개의 사례를 보여주며 이를 기반으로 간단한 예에 본 시스템을 적용하여 보았다. 적용 결과 부품 대응 및 그에 따른 관계 대응을 통하여 적절한 공정계획을 수립함을 확인할 수 있었다. Fig. 3, Fig. 4 는 본 시스템에서 수립한 공정계획 결과를 도시한 것이다. 사례기반에 보다 많은 사례가 추가되면, 본 시스템은 더 많은 대상 블록에 적합한 공정계획을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

본 논문에서는 사례기반 추론 기법을 이용하여 조선산업에서의 블록 조립 공정계획 시스템을 전문가 시스템 쉘인 CLIPS 를 이용하여 구현하였다. 구현된 시스템은 간단한 예에 적용하여 적용 가능성을 입증하였다.

사례기반 추론 기법은 전문가 시스템이 일반화

된 규칙을 사용하는 데 반하여 유사 사례로부터 해를 도출하는 기법이다. 따라서 전문가 시스템의 경우 여러 개의 사례에서 일관되게 적용 가능한 일반화 된 규칙을 도출하는 과정 즉, 지식 습득 또는 학습과정이 복잡한 데 반하여 사례기반 기법은 학습 과정이 사례 수집과 동일하므로 지식기반 (여기서는 사례기반) 구축이 쉽다. 본 사례기반 시스템은 축적된 사례가 풍부해짐에 따라 더 좋은 성능을 발휘할 수 있을 것으로 보인다. 본 연구에서는 적응과정 후 유사공정 그룹핑 규칙만을 적용하였으나 적응과정에서 추가적으로 규칙을 보강하면 보다 효율적인 공정계획 시스템이 될 수 있을 것이다.

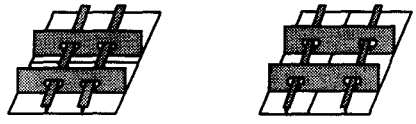


Fig. 2 Case examples

Fig. 3 Example 1

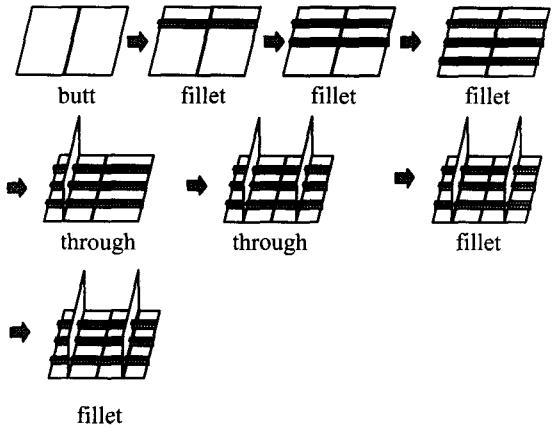


Fig. 4 Example 2

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정 기초연구 사업 (R01-2002-0000-00232-0)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드린다.

참고문헌

1. Sheen, D., Lee, C.-H., Lee, K., "A Process Planning System for Machining of Press Dies for Auto-Body Production," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 108-115, 2000.
2. Sheen, D., "Automatic Process Planning by Parsing the Parameters of Standard Features," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 105-111, 2003.
3. Lee, J.W., Hwang, I.S., Yun, D. Y., Kim, H.J., "Functions of Solid Modeling CAD for the Division of Block in Shipbuilding," Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 31, No. 1, 1994.
4. Choi, H.-J., Lee, S.-H., "A Development of Ship-Block Dividing CAD Module Connected to WWW," Journal of Korean CAD/CAM Society, Vol. 2, No. 4, pp. 267-275, 1997.
5. Cho, K.K., Ryu, K. R., Choi, H. R., Lee, S. H., Jung, D. S., Yun, S. T., "Development of Computer Aided Process Planning System for Hull Assembly Shops," Industrial Engineering, Vol. 8, No.2, pp. 41-52, 1995.
6. Sheen, D., "Computer Aided Process Planning of Block Assembly using Expert System," Journal of Ocean Engineering and Technology, The Korea Committee for Ocean Resources and Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 67-71, 2003.
7. Jo, H.-J., Lee, K.-Y., "Ship Block Assembly Modeling based on the Graph Theory," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 38, No.2, pp. 79-86, 2001.
8. Okumoto, Y., Matsuzaki, S.-I., "Approach to Accurate Production of Hull Structures," Journal of Ship Production, Vol. 13, No. 3, pp.207-214, 1997.
9. Kolodner, J. L., Leake, D. B., "A Tutorial Introduction to Case-Based Reasoning," Case-Based Reasoning, David Leake ed., AAAI Press/The MIT

Press, pp.31 –65, 1996.

10. Maher, M. L., Balachandran, M. B., Zhang, D. M., Case-Based Reasoning in Design, Lawerance Erlbaum Associates, pp. 85-107, 1995.
11. Russell, S., Norvig, P., Artificial Intelligence - A Modern Approach, Prentice-Hall, pp. 297-334, 1995.
12. Pu, P., Purvis, L., "Formalizing the Adaptation Process for Case-based Design," Issues and Applications of Case-Based Reasoning in Design, Maher, M. L. and Pu, P. ed., Lawrence Erlbaum Associates, pp. 221-240, 1990.
13. http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html