

사례기반 추론 및 전문가시스템 통합을 통한 블록조립 계획 시스템

신동목*

*울산대학교 조선해양공학부

Block Assembly Planning Using Case-based Reasoning and Expert System

DONG-MOK SHEEN*

*School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

KEY WORDS: Block assembly 블록 조립, CBR(Case-based reasoning) 사례기반 추론, Expert system 전문가 시스템, CAPP(Computer aided process planning) 컴퓨터 이용 공정계획

ABSTRACT: This paper presents a computer aided process planning system integrating case-based reasoning and expert system for block assembly in shipbuilding. Expert rules are extracted from the case-base where cases are represented as a set of constraint-satisfaction problems. Rules for the expert system are extracted by generalizing the constraints. In generalizing the constraints, parts are generalized as variables or as part-types. The system was developed with CLIPS, an expert system shell. As more cases are collected, more rules will be extracted and the existing rules will be updated.

1. 서 론

설계 정보를 이해하여 제조 방법을 제시하는 공정계획 업무는 그 특성 상 공정, 소재, 설비에 대한 깊은 이해를 필요로 하므로 많은 현장 경험을 갖춘 인력이 이를 수행한다. 그러나 전문가들의 고령화와 현장 경험을 갖춘 기술자의 부족으로 공정계획 전문가가 점차 줄어들고 있다. 또한, 전문가가 지속적으로 공급된다고 할지라도 수작업에 의한 공정계획은 근본적으로 주관적일 수밖에 없어서, 또 다른 문제점을 내포하고 있다. 즉, 생산성 및 공법의 향상의 기반이 되는 공정계획 규칙을 논리적으로 기술한 지식 기반 및 데이터베이스가 없을 경우, 시스템에 의한 생산성 향상을 기대할 수 없으며, 오작업 등의 문제를 근본적으로 해결할 수 없다. 지속적인 개선을 추구하기 위해서는 일관된 공정계획을 생성하고 그에 따라서만 작업을 수행하는 ‘데이터 기반 생산(Data based manufacturing)’을 통하여 지속적인 개선을 하여야 한다.

컴퓨터를 이용한 공정계획(Computer aided process planning, CAPP)은 CAD와 CAM을 연결하는 즉, 설계 정보를 생산 방법으로 바꾸어 주는 기술로 컴퓨터 통합생산(Computer integrated manufacturing, CIM)의 완성에 있어서 핵심적인 기술이다. CAPP 시스템은 공정계획 전문가의 부족이라는 시급한 문제 해결책으로서 뿐만 아니라, 생산시스템 자동화의 기반기술로서 공정계획 시간 단축, 객관적이고 일관적인 공정계획의

도출, 지식의 축적을 통한 지속적 개선 기반 제공, 생산시스템 자동화 지원 등의 장점을 갖고 있다.

조선해양산업에서 공정계획은 공정별로 블록 분할 계획, 가공계획, 블록조립 계획, 탑재 계획 등에 관한 공정계획이 연구되고 있다. 생산설계 단계에서는 상용 CAD 시스템에서 여러 형상의 가상 블록과 솔리드로 표현된 선체모델과의 교차(Intersection)에 의하여 블록을 분할하는 방법 연구(이재원 등, 1994)와 블록 분할에 따른 CAD 데이터 구조의 변환에 관한 연구(최해진과 이수홍, 1997) 등이 보고되고 있다. 블록조립 공정을 대상으로 한 연구는 선각 내업 공장을 대상으로 각 부재별 접속방향과 접속형태를 고려하여 블록 조립순서를 생성하는 공정계획(조규갑 등, 1995; 윤성태, 1997; 신동목 등, 2004), 블록의 조립공정을 그래프의 edge로 표현하여 그래프를 통합해 가는 방법으로 공정순서를 정하는 방법(조학중과 이규열, 2001), 전문가 시스템을 이용하여 조립순서를 결정하는 방법(신동목, 2003) 등이 보고되고 있다. 이 밖에 도크에서의 탑재 공정을 대상으로 한 시뮬레이션 기반 공정계획 사례(황규옥, 2000), CAD 시스템과 블록조립 계획과의 인터페이스(최상수와 신동목, 2004) 등이 보고되고 있다.

하나의 선박은 최종적으로 100개 내외의 선형 의장이 완료된 블록들을 도크에서 탑재함으로써 건조된다. 각각의 블록은 작은 블록들로부터 조립 생산되며, 기본 단위 블록은 판재 절단 및 용접을 통하여 조립된다. 선박 건조 공정 중 블록 조립은 건조공법에 따라 여러 대안이 있는데, 기존의 방법은 전량 수작업에 의존하여 조립순서를 생성한다(한용섭, 2001). 블록 조립 공정 계획의 자동화를 위해서는 CAD 시스템에서 부재의

교신저자 신동목: 울산광역시 남구 무거동 산 29

052-259-2152 dmsheen@ulsan.ac.kr

기하정보에 조립에 필요한 부재간 관계, 접합 제한 조건 등을 표현하는 형상기반 설계 기법, 이들 정보를 이용하여 자동으로 공정정보를 추출하는 형상추출 방법, 추출된 형상정보와 지식 베이스를 이용하여 자동으로 블록 조립 순서를 추출하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

설계 문제 등에 사용되는 지식기반 시스템의 일종인 사례기반추론(Case based reasoning; CBR) 기법은 지식을 사례 형태로 저장한다. 하나의 사례는 문제 정의 및 해로 구성되며, 사례기반시스템은 주어진 문제에 대한 유사사례(들)을 검색한 후 이를 문제에 적응(Adaptation)시키는 방법으로 해를 구한다(Kolodner and Leake, 1996). 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 시스템을 이용하기도 한다. 조규갑 등(조규갑 등, 1995)은 사례기반 추론을 조건블록조립 공정계획에 적용하였다. 선종, 선형별로 사례들을 분류하여 트리구조로 사례기반을 구축한 후 문제가 주어지면 해당 선종, 선형을 키로 하여 검색하는 방법으로 유사사례를 찾고 있다. Pu and Purvis(1990)는 기계부품 조립 문제에 사례기반추론을 적용하였는데, 각각의 사례를 제약 만족 문제로 표현하고 유사 사례를 구조비교(Structural mapping) 방법을 사용하여 검색한다. 부품들간의 조립관계 종류(INSIDE, SHAFT-HOLE 등으로 표현) 비교를 통하여 유사사례를 찾은 후 대응되는 부품을 찾는다. 신동목 등(2004)은 블록조립 문제에 구조비교 방법을 이용한 사례기반 추론 기법을 적용하였다.

사례기반 시스템에서 지식 기반은 곧 누적된 사례인데 반하여 또 다른 형태의 지식기반 시스템인 전문가 시스템에서는 일반화된 규칙들로 규칙기반(Rule-base)을 구축한 후 주어진 문제로부터 추론 과정을 거쳐 해를 구한다. 따라서 사례기반 추론에 비하여 새로운 문제에 대하여 적용하기 용이하다. 대표적인 전문가 시스템으로는 현재의 사실들(Facts)을 근거로 IF <condition> THEN <action> 형태의 규칙들을 제어전략(Control strategy)에 따라 선별 적용하여 해를 도출하는 규칙기반 시스템(Rule-based system 또는 Production system)이 많이 사용된다.(Russell and Norvig, 1995). 신동목(2003)은 블록 조립 공정에 관련된 규칙들을 결합, 결합에 따른 연관결합 통합, 유사결합 그룹핑, 공정과 공정간의 선행관계로 분류한 후 전문가시스템 쉘인 CLIPS(<http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>)를 이용하여 전문가 시스템을 구축한 바 있다.

2. 연구 개요

2.1 연구 내용 및 방법

본 연구는 자동화 된 블록조립 공장을 위한 자동화된 지능형 공정계획 및 작업지시 시스템 연구(Fig. 1 참조)의 일부로 사례기반 추론 및 전문가 시스템을 연계하는 공정계획 시스템을 개발한다. 특히 축적된 사례들로부터 전문가 시스템 규칙을 추출하는 방법을 제시함으로써 지식추출 및 시스템 성능 향상을 도모한다.

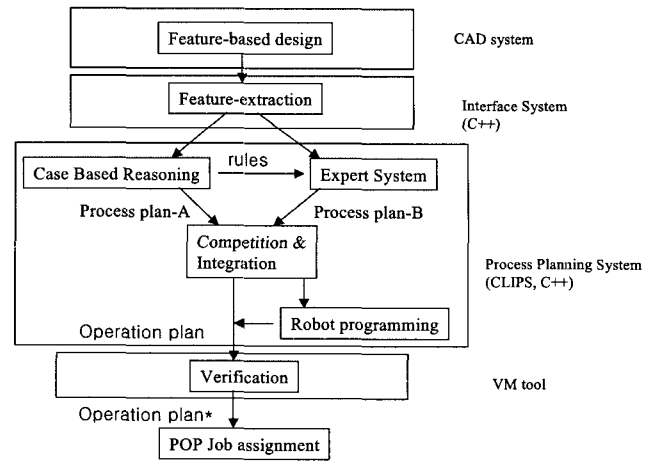


Fig. 1 System overview

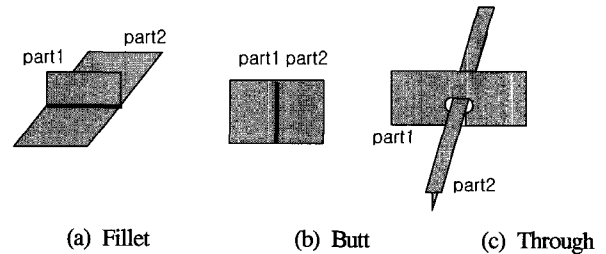


Fig. 2 Unit operations

3. 연구내용

3.1 사례기반

블록 조립은 Fig. 2에 예시된 것과 같은 필렛 용접(Fillet welding), 버트 용접(Butt welding), 관통(Through fit)의 3 가지 공정을 이용하여 단위 블록을 생산하는 과정이다. 조립 순서를 결정하는 데에는 기하학적 제한조건, 정밀도를 고려한 경험규칙, 열 변형 등에 의한 선행관계를 고려하게 된다.

하나의 조건 블록 조립 사례를 제약만족 문제로 정의할 경우 부품집합, 접합관계(단위 공정) 집합, 단위공정들 간 관계 제약조건, 그리고 문제의 해에 해당하는 단위공정들의 순서로 구성할 수 있다. 반면, 블록 조립문제는 조립대상 부품들, 수행해야 할 부품들 간의 접합관계들이 주어진 상태에서, 해에 해당하는 공정 순서를 얻고자 하는 문제로 정의할 수 있다. Table 1은 하나의 사례를 예시한다. 사례는 조립대상 부품들을 기술하는 Parts부, 접합관계들을 표시하는 Relations부, 각 접합 관계들 간의 제한조건을 나타내는 Constraints, 그리고 사례에 대한 해에 해당하는 Solutions부로 이루어진다. Table 1의 사례에서 Parts부를 보면 부품 r1의 경우 Rib종류이며 p1은 Plate 종류임을 나타낸다. 접합조건들 사이에는 기하학적 간섭조건, 조립 순서에 따른 변형관계, 기타 경험 규칙에 따라 선행관계(<) 및 동일순서 그룹관계(AND)가 정의되며, 조립이 진행됨에 따라 두 개의 접합 관계 중 하나만 필요한 선택적 관계(OR) 등이 정의된다.

Table 1 An example case

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

Table 1에 제시한 사례를 참조하여 제한조건 표현방법을 보면 "< v9 v11"는 g2부품을 p2 부품에 필렛 용접하는 접합관계(v11)는 g2부품을 r2 부품에 관통하는 접합관계(v9) 후에 수행되어야 함을 나타낸다. 또한 "= v2 v3"는 접합관계 v2와 v3 가 그룹 작업으로 둘 사이에는 선행관계는 없으나, 다른 작업이 중간에 삽입되지 말아야 함을 의미하며, "OR v8 v9"는 v8과 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 1에서 v1=1, v3=2, v2=3 임을 알 수 있다.

3.2 사례기반 추론 시스템과 전문가 시스템 연계

전문가 시스템을 구현하는 데 있어 가장 어려운 부분의 하나는 지식추출(Knowledge acquisition)이라고 할 수 있다. 의학 분야 등 전문가 시스템이 먼저 발달한 분야와 비교할 때 공학 분야에서 현장의 전문가들은 자신의 지식을 일반화하여 논리적으로 기술하는 데 서투른 경우가 많다. 따라서 전문가들이 경험한 특수 사례들로부터 일반화된 규칙을 도출하는 것은 많은 경우 전문가 시스템 개발자의 몫이었다. 이 경우 시스템 개발자는 현장 지식이 상대적으로 부족하여 경험 사례들을 충분히 일반화하지 못하기 쉽다. 반면에 사례기반에는 지식이 암시적으로 저장되어 있어 사례기반 추론 시스템을 사용할 경우 지식추출 과정이 없이 지식을 사례 형태로 저장하기 때문에 시스템 구축이 상대적으로 간단하다. 따라서 전문가시스템용 규칙을 사례기반으로부터 추출할 수 있다면 전문가 시스템과 사례기반 추론 시스템을 효과적으로 연계하여 전체 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 다만, 시스템 운영 초기 단계에서는 전문가 규칙이 충분치 않으므로 사례기반 추론을 같이 이용하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 사례기반에 저장된 제약조건들을 비교하여 전문가 시스템용으로 IF... THEN ... 형태의 Production rule로 추출한다. Fig. 3은 규칙 추출 과정 및 전체 시스템 운영과정을

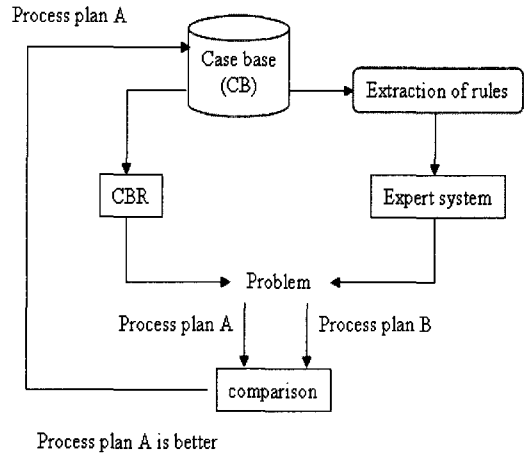


Fig. 3 Integration of CBR and expert system

보여준다. 운영과정에서는 추출된 규칙에 기반한 전문가시스템과 사례기반 추론 시스템의 결과를 비교하여 사례기반 추론 시스템의 결과가 우수할 경우 사례기반에 해당 사례를 등록하며, 따라서 그에 따라 규칙기반이 수정될 수 있다.

4. 사례로부터 전문가 규칙 추출

4.1 규칙 추출

공정간 선행관계는 두 공정간 선행관계와 두 공정 이상의 다 공정간 선행관계로 나누어 볼 수 있다. 본 연구에서 고려하는 사례기반은 제약조건을 두 공정 사이의 선행조건으로 규정하고 있다.

Fig. 4, Fig. 5는 두 개의 사례와 이를 그래프로 표현한 것이다. Fig. 4(a), Fig. 5(a) 그래프에서 좌측 그래프는 전체 블록조립상태를 그래프로 표현한 것이다. 노드(Node)는 부재를 나타내며 노드를 잇는 아크(Arc)는 관계를 나타낸다. 아크들은 다시 실선은 필렛 용접을, 긴 점선은 버트 용접을 나타내며 작은 점선은 관통 공정을 나타낸다. 버트 용접의 경우 Butt(a, b)와 Butt(b, a)는 동일하다. 그러나 필렛 용접의 경우 Fillet(a, b)는 a를 b에 필렛 용접하는 것을 의미하며, Fillet(b, a)와 다르다. 관통의 경우 Through(a, b)는 a를 b 위로 관통시킨다는 의미를 나타내며 역시 Through(b, a)와 다르다. 따라서 그래프에서 필렛 용접과 관통의 경우 화살표로 각 부재의 역할을 명시하였다. 부재 형태는 노드의 형상을 이용하여 표현하였는데, 원은 Plate, 사각형은 Rib, 삼각형은 Girder를 나타낸다. 두 개의 관계 사이의 선행관계, AND, OR 제약조건을 형태별로 분리해 보면 사례 1에서는 Fig. 4(b), 사례 2에서는 Fig. 5(b)와 같이 제약조건들이 정의된 Sub-graph들이 나온다. 이들 Sub-graph의 아크에 숫자로 나타낸 선행조건은 실제로는 부재들 간의 전역적(Global) 연관 관계에 의해서 정해진 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 전역적 연관관계를 고려하여 규칙추출을 하는 첫 단계로 두 개의 제약조건을 비교 통합하여 일반화 하는 방법을 취하였다.

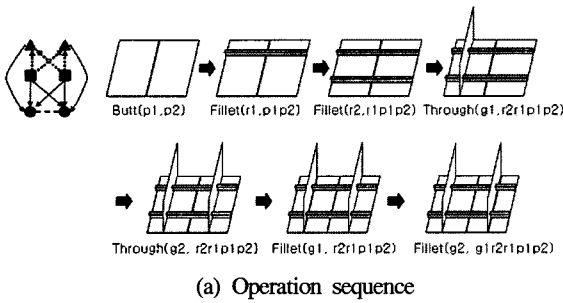


Fig. 4 Case 1

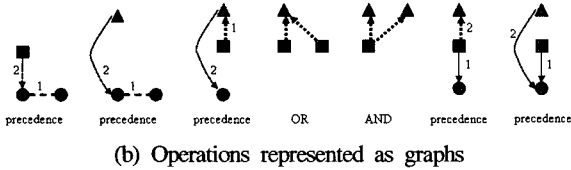


Fig. 5 Case 2

다음은 전문가 시스템 규칙을 사례기반으로부터 추출하기 위하여 정의한 두 종류의 Meta-rule들을 설명한다.

4.1.1 부품 차원 일반화를 통한 규칙 추출

사례기반에 정의된 공간간 선행조건은 단순히 두 관계 사이에서 정의된 제약조건이라기 보다는 여러 관계들 간의 상호연관관계에 의한 결과로 나타나는 제약조건인 경우가 많다. 따라서 제약조건들로부터 일반화된 규칙을 추출하기 위해서는 복수의 연관된 제약조건을 동시에 검토하여 전역적 연관관계를 검토하여야 한다. 예를 들어 사례기반에 정의된 두 제약조건 Fig. 6(a), (b)는 단순히 두 관계 사이에 설정된 선행조건이 아니라 Fig. 7과 같이 두 제약조건을 같이 고려하여 전역적으로 연관관계들을 고려했을 때 설명이 될 수 있는 선행관계이다. 따라서 두 제약조건이 동일한 관계를 공유하고 동일한 부품 집합 내에서 연관관계를 갖고 있을 때 세 부품 사이의 연관관계가 제약조건을 지배한다고 볼 수 있다. 즉 사각형으로 표현된 rib부재가 점선(Butt 공정)으로 연결되는 두 개의 Plate에 각

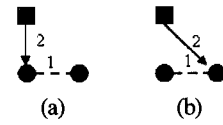


Fig. 6 Individual constraints



Fig. 7 Two constraints combined

각 동일한 형태의 연관관계(Fillet 공정)가 있을 때, 점선 관계가 선행되는 것이지 Fig. 6(a), (b)와 같이 단독으로 선행관계가 설정되는 것은 아니다.

본 연구에서는 두 개의 제약조건이 동일한 관계를 가질 때 통합하여 일반화시키는 다음과 같은 Meta-rule을 정의하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{IF } C1 : & (op1 \ R11(p111, p112) \ R12(p121, p122)) \wedge \\
 C2 : & (op2 \ R21(p211, p212) \ R22(p221, p222)) \wedge \\
 op1 = & op2 \wedge \\
 R11 = & R21 \wedge \\
 p111 = & p211 \wedge p112 = p212 \wedge \\
 R12 = & R22 \wedge \\
 p121 = & p221 \wedge p122 = p111 \wedge p222 = p112
 \end{aligned}$$

THEN

일반화된 Rule생성

$$\begin{aligned}
 \text{Rule: } & (op1 \ R11(p111(x), p112(y)) \\
 & \{R12(p121(z), p111(x)) \ R12(p121(z), p112(y))\})
 \end{aligned}$$

여기서, C1, C2는 사례기반에 나타난 두 제약조건을 나타내며, op는 공정간 선후 관계를 나타내는 <, 동시 공정을 나타내는 AND, 선택 공정을 나타내는 OR 등의 값을 가지며, R(p,q)는 부재 p, q간 관계(공정)를 나타낸다. 일반화된 규칙에서 각 부재는 p111(x), p112(x) 등과 같이 일반 변수로 표현된다.

4.1.2 부품종류 차원 일반화를 통한 규칙 추출

Fig. 8 (a), (b)와 같이 두 제약조건이 동일한 관계를 공유하되, 서로 다른 부품 하나씩이 연관될 때는 연관된 두 부품이 동일한 종류인 경우 부품 종류차원에서 일반화한다. 본 연구에서는 이 경우를 일반화하기 위하여 다음과 같은 Meta-rule을 적용하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{IF } C1 : & (op1 \ R11(p111, p112) \ R12(p121, p122)) \wedge \\
 C2 : & (op2 \ R21(p211, p212) \ R22(p221, p222)) \wedge \\
 op1 = & op2 \wedge \\
 R11 = & R21 \wedge \\
 p111 = & p211 \wedge p112 = p212 \wedge \\
 R12 = & R22 \wedge \\
 p121 = & p221 = p111 \wedge \text{type}(p122) = \text{type}(p222)
 \end{aligned}$$

THEN

일반화된 Rule생성

Rule: (op1 R11(p111(x), p112(y))
(R12(p111(x), type_p122(z)))

여기서 type(.) 함수는 부품의 종류를 나타낸다. Fig. 9는 두 제약조건을 병합하여(Fig. 9(a)) 부품 종류 차원의 일반화(Fig. 9(b))가 이루어진 것을 도시하고 있다.

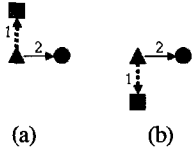


Fig. 8 Individual constraints

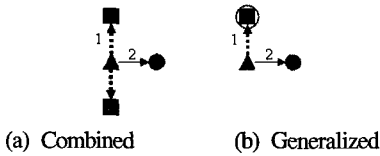


Fig. 9 Two related constraints

4.2 시스템 구현

본 시스템은 전문가 시스템 셸인 CLIPS를 이용하여 구현하였다. 각각의 제약조건들은 먼저 일반화 과정을 거쳐서 다음과 같은 형식으로 표현된다. 여기서, id는 해당 규칙을 나타내기 위한 슬롯이며, op는 <, AND, OR 등으로 표현되는 비교 연산자 슬롯, First와 Second는 각각 op가 규정하는 피연산자로서 첫 번째, 두 번째 피연산자를 나타내는 슬롯이다.

```
(deftemplate MAIN::rule-to-be
  (slot id (type SYMBOL))
  (slot op (type SYMBOL))
  (multislot first (type SYMBOL))
  (multislot second (type SYMBOL)))
```

다음 Fact는 제약조건이 일반화 과정을 거친 단계 예를 보여준다. 괄호 안에 나타난 부품들은 p1, r1, g1 등의 부품 고유 식별기호를 갖고 있어 아직 전문가시스템 규칙으로 일반화한 상태가 아님을 나타내고 있다.

```
f-180 (rule-to-be (id gen63) (op <) (first through[gen1-girder#g1,
gen1-rib#r1]) (second fillet[gen1-girder#g1, gen1-plate#p1]))
```

이와 같이 각각의 제약조건들이 일반화되고 나면 이를 대상으로 병합 비교를 통하여 전문가 규칙을 도출하기 위한 Meta-rule을 적용한다. 다음은 CLIPS로 Meta-rule을 구현한 예를 보여준다. 기존의 제약조건 c1과 c2을 비교하여 부품 차원의 일반화를 수행하는 규칙이다.

```
(defrule rule1-1
?c1 <- (rule-to-be (id ?id1) (op ?opr) (first ?v1f) (second ?v1s))
```

```
?c2 <- (rule-to-be (id ?id2&~?id1) (op ?opr) (first ?v1f)
(second ?v2s&&(same-rel ?v1s ?v2s)))
=>
(bind ?parts (extract-parts ?v1f ?v1s ?v1f ?v2s))
(bind ?p111 (nth$ 1 ?parts))
(bind ?p112 (nth$ 2 ?parts))
(bind ?p121 (nth$ 3 ?parts))
(bind ?p122 (nth$ 4 ?parts))
(bind ?p221 (nth$ 7 ?parts))
(bind ?p222 (nth$ 8 ?parts))
(if (and (eq ?p121 ?p221) (eq ?p122 ?p111) (eq ?p222 ?p112)) then
  (bind ?rels (generalize-parts ?parts (create$ ?v1f ?v1s ?v1f ?v2s)))
  (bind ?v1fg (nth$ 1 ?rels))
  (bind ?v1sg (nth$ 2 ?rels))
  (bind ?v2fg (nth$ 3 ?rels))
  (bind ?v2sg (nth$ 4 ?rels))
  (assert (rule-to-be (id (gensym))
    (op ?opr) (first ?v1fg) (second ?v1sg ?v2sg)))
```

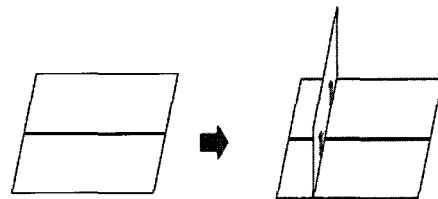
다음은 실행과정에 생성된 Fact 들의 일부를 보여주고 있다. gen숫자로 표현된 부분은 일반화된 변수를 나타낸다. 모든 부품들이 일반 변수 화되어 있음을 알 수 있다.

```
f-213 (rule-to-be (id gen103) (op <) (first butt[gen32-plate#gen95,
gen32-plate#gen96]) (second fillet[gen32-girder#gen97, gen32-plate#gen95]
fillet[gen32-girder#gen97, gen32-plate#gen96]))
f-217 (rule-to-be (id gen139) (op <) (first butt[gen1-plate#gen131,
gen1-plate#gen132]) (second fillet[gen1-rib#gen133,gen1-plate#gen131]
fillet[gen1-rib#gen133,gen1-plate#gen132]))
f-221 (rule-to-be (id gen175) (op <) (first through[gen1-girder#gen167,
gen1-rib]) (second fillet[gen1-girder#gen167, gen1-plate#gen170]))
```

위 Fact들 중 f-213은 다음과 같은 전문가 규칙들로 변환되며, 그 내용은 Fig. 10에 도시하였다. 즉, 하나의 리브 부재가 버트용접될 두 판재에 필렛 용접될 경우 버트 용접 후 필렛용접을 행해야 함을 나타낸다.

```
IF butt[plate(x),plate(y)], fillet[girder(z),plate(x)], fillet[girder(z),plate(y)]
THEN butt[plate(x),plate(y)] precedes fillet[girder(z),plate(x)],
fillet[girder(z),plate(y)]
```

또한 f-217은 다음과 같은 전문가 규칙으로 변환되며 그 내



```
butt(plate(x),plate(y)) fillet(girder(z),plate(x))
fillet(girder(z),plate(y))
```

Fig. 10 Rule 1

용은 Fig. 11에 도시하였다. 즉, 하나의 리브 부재가 버트용접 될 두 판재에 필렛 용접될 경우 버트 용접 후 필렛용접을 행해야 함을 나타낸다.

```
IF butt[plate(x),plate(y)], fillet[rib(z),plate(x)], fillet[rib(z),plate(y)]
THEN butt[plate(x),plate(y)] precedes fillet[rib(z),plate(x)],
fillet[rib(z),plate(y)]
```

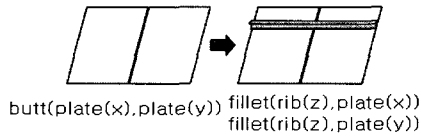


Fig. 11 Rule 2

마찬가지로 f-221은 다음과 같은 전문가 규칙으로 변환되며 그 내용은 Fig. 12에 도시한 바와 같이 하나의 Girder 부재가 Rib 부재를 관통하고 필렛 용접되어야 한다면 관통 후 용접되어야 함을 나타내고 있다.

```
IF through[girder(x), rib] fillet[girder(x), plate(y)]
THEN through[girder(x), rib] precedes fillet[girder(x), plate(y)]
```

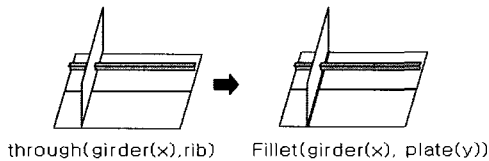


Fig. 12 Rule 3

5. 결 론

본 논문은 조선산업의 주요 공정인 블록 조립공정을 대상으로 개발 중인 공정계획 자동화 및 검증시스템의 일환으로 사례기반 추론으로부터 전문가시스템 규칙을 도출하는 공정계획 시스템에 대하여 기술하였다. 개발한 시스템을 사례기반에 적용해 본 결과 추출된 전문가 규칙이 적용 가능한 것으로 그 타당성이 입증되었다. 본 시스템은 운영단계에서 전문가 시스템과 사례기반 추론 결과를 비교하여 사례기반 추론 결과가 우수할 시 그 결과를 사례기반에 저장함으로써 지속적으로 전문가 규칙 기반을 갱신하게 된다. 본 논문에서는 두 개의 제약 조건을 비교하는 방법으로 전문가 규칙을 도출하였으나 공정들 간의 전역적 연관관계를 완전하게 고려하려면 세 개 이상 다수의 제약 조건들을 동시에 비교하여 전문가 규칙을 도출하는 방법이 연구되어야 한다.

본 연구는 단순한 형태의 블록을 대상으로 하였으나 실제 조선소의 다양하고 복잡한 블록들을 대상으로 적용하여 그 실용성을 입증해 보고자 한다. 또한 향후연구로는 사례기반으로부터 도출된 규칙들에 대하여 신뢰도를 검증하는 방법에 대한 연구가 필요할 것이다.

후 기

본 연구는 2004년도 학술진흥재단의 지원사업(과제번호 D00473)으로 수행된 연구결과의 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 신동목, 김태운, 서유희 (2004). "사례기반 추론을 이용한 블록 조립계획," 한국정밀공학회지, 제21권, 제7호, pp 163-170.
- 신동목 (2003). "전문가시스템을 이용한 블록조립 공정계획," 한국해양공학회지, 제17권, 제1호, pp 67-71.
- 윤성태 (1997). "선박 제품모델 기반 컴퓨터 원용 공정설계 시스템 개발 연구," 대한조선학회지, 제34권, 제4호, pp47-52.
- 이재원, 황인식, 윤덕영, 김훈주 (1994). "조선 블록분할 공정계획을 위한 솔리드 모델링 CAD의 기능 연구," 대한조선학회지, 제31권, 제1호, pp 51-56.
- 조규갑, 류관렬, 최형립, 이수홍, 정동수, 윤성태 (1995). "선각 내업 공정설계 자동화 시스템의 개발," 산업공학, 제8권, 제2호, pp 41-52.
- 조학중, 이규열 (2001). "그래프 이론을 기반으로 한 선박의 블록 어셈블리 모델링," 대한조선학회논문집, 제38권, 제2호, pp 79-86.
- 최상수, 신동목 (2004). "Open CASCADE를 이용한 블록조립 계획용 CAD 인터페이스," 제18권, 제3호, pp 26-31.
- 최해진, 이수홍 (1997). "WWW와 연계된 선박조립 구조물의 분할 CAD 모듈 개발," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제2권, 제4호, pp 267-275.
- 한용섭 (2001). "21세기 한국 조선 생산기술 발전에 필요한 정보기술," 대한조선학회지, 제38권, 제1호, pp34-41.
- 황규욱 (2000). "제품모델 기반의 공정계획 모델 연구," 차세대 조선 한국조선기술연구조합 생산시스템 기술개발 사업 최종결과 발표회 자료집, 전경련회관, pp 111-123.
- Kolodner, J.L. and Leake, D.B. (1996). "A Tutorial Introduction to Case-Based Reasoning," Case-Based Reasoning, David Leake ed., AAAI Press/The MIT Press, pp 31-65.
- Pu, P. and Purvis, L. (1990). "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.
- Russell, S. and Norvig, P. (1995). Artificial Intelligence - A Modern Approach, Prentice-Hall, pp 297-334.

2007년 3월 16일 원고 접수

2007년 4월 18일 최종 수정본 채택