

이 논문은 1992년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

## 용접판 구조물의 설계를 위한 Feature 기반 모델링 시스템

김 동 원\*, 양 성 모\*\*, 최 진 섭\*\*\*

### A Feature Based Modeling System for the Design of Welded Plate Construction

Dong-Won Kim\*, Sung-Mo Yang\*\*, Jin-Seob Choi\*\*\*

#### ABSTRACT

Developed in this paper is a feature based modeling system for the design of welded plate construction (WPC) which is composed of flat or bended plates represented as reference plane with a constant thickness. First, the necessity and the characteristics of the modeling system for WPC as compared with the assembly of mechanical parts are investigated. Secondly, feature library for the assembly of WPC is shown which contains several types of features like joint feature, groove feature, material feature, and precision feature. Thirdly, the assembly procedures are presented which mainly consist of both the assembly transformation and the correct assembly checking. Fourthly, weld lines of the assembled WPC are defined so that those can be used in the process planning or the manufacturing stage. Finally, a prototype case study is added to show the performance of the system. This system is developed by a geometric modeling software Pro/Engineer, a graphic software GL(Graphic Library), and C language on a CAD workstation IRIS.

**Key Words :** CAD/CAM Integration, Feature Based Modeling System, Feature Library, Spatial Relationship, Assembly Transformation

#### 1. 서 론

CAD/CAM 장비의 보급이 증가되면서 현장 활용성을 제고시키기 위한 CAD와 CAM의 통합(Integration)에 대한 연구가 계속되고 있다. CAD/CAM 통합 혹은 CAD와 CAM의 유기적인 연결은 설계 단계에서 생산 단계로의 신속하고 원활한 정보 전달을 가능케 하며 전체 작업 주기를 단축시키는 효과를 가져온다. 이를 위

해 CAD 모델링 당시 가공제품의 기하학적 형상 뿐만 아니라 가공 공정의 특성까지도 묘사하여, CAD 정보에 여러가지 공정 및 기능 정보들을 포함시켜야 할 필요가 발생한다. 즉, 제조 공정에서 특별한 의미를 갖는 기하학적 특성 및 가공 특성 등을 "Feature"로 미리 정의하여 CAD 모델링 당시에 명시하는 것이다.

Feature 개념을 이용한 기존의 연구는 세가지 방식으로 나눌 수 있다. 첫째는 모델링을 한 후에 기하 데이

\* 전북대학교 공과대학 산업공학과(중신외원)

\*\* 전북대학교 공과대학 정밀기계공학과

\*\*\* 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

터로부터 설계자의 수작업에 의해 Feature를 정의 혹은 인식하는 방법, 즉 HFR(Human-assisted Feature Recognition)로서, 주로 공정 계획이나 NC 공구 경로 생성을 위한 입력을 준비하는데 사용되는 것이다<sup>(1)</sup>. 비교적 수작업에 의한 오류의 가능성이 많으며, 주로 다른 방식에서 처리하지 못하는 복잡한 Feature를 그래픽 화면이나 특정 모델을 이용하여 정의하고, 보완 처리하는데 사용된다. 두번째 방식은 솔리드 모델러에 저장된 기하 데이터로부터, 미리 정의된 패턴에 들어 맞는 Feature를 찾아내고 추론하는 방법, 즉 FRE(Feature Recognition and Extraction)이다<sup>(2)</sup>. 이 방법은 CAD 데이터베이스의 정보만을 그대로 받아 이용할 수 있다는 장점이 있으나, 추론이 어렵거나 애매한 경우가 발생할 수도 있다<sup>(2, 3)</sup>. 만약 모델러에 설계시에 필요한 정보가 직접적으로 모두 들어 있다면 Feature를 찾고, 추론하는 과정은 불필요한 작업이 된다. 마지막으로, 미리 Library에 저장되어 있는 Feature를 이용하거나 서로 통합시켜 제품을 설계하는 방법, 즉 FBM(Feature-Based Modeling)이 있다<sup>(4, 5)</sup>. 이 방법은 설계시에 Feature를 정의하고 이용해야 하는 불편함은 따르지만, 응용 분야별로 Feature Library만 잘 구성되어 있다면 비교적 용이하게 제품을 모델링 할 수 있고, 공정 계획 및 가공 단계로의 직접적인 온-라인 응용이 가능하여 현재 활발히 연구되고 있는 분야이다.

용접작업은 조립작업과 함께 로봇의 현장 도입을 위해 CAD 기반 오프 라인 프로그래밍(CAD based Off-line Programming)기법이 비교적 활발히 연구되고 있는 분야이다<sup>(6, 7)</sup>. 이 방식은 로봇을 직접 움직여 가면서 로봇 교시(teaching)를 하는 종래의 방식에서 탈피하여 로봇이 움직여 가야할 경로를, CAD 시스템을 통해 미리 계산하고 검증한 다음, CAD 데이터 혹은 IR-Data(Industrial Robot Data)의 형식으로 로봇 제어기에 직접 입력시키는 방식이다. 따라서 공정 계획 및 로봇용접 작업을 위한 효과적인 CAD 화일 혹은 데이터베이스의 구성이 필수적으로 요구된다 하겠다. 한편 Feature 개념은 처음에는 기계 부품의 조립에 적용되었지만<sup>(8, 9)</sup> 차츰 기계 가공<sup>(10, 11)</sup>을 비롯한 주조<sup>(4)</sup>, 인젝션 몰딩<sup>(12)</sup> 등 적용 분야가 넓어지고 있어 용접 분야에도 적용이 기대된다고 볼 수 있다. Feature 개념의 국내 연구는, 기계 부품의 조립분야에 대한 이견우 및 고희룡에 의한 연구<sup>(8, 9)</sup>가 활발히 소개되고 있으며, Concurrent Engineering 분야에서 FRE

방식을 응용한 서효원의 연구<sup>(3)</sup>도 주목할 만 하나, 용접 부품의 Feature 기반 시스템에 관한 연구는 문헌상으로 소개되지 않은 것으로 안다. 또한 자동차 공업을 중심으로 스폿 용접 및 일부 아크 용접 분야에서 CAD 기반의 오프라인 프로그래밍 기법이 적용되고 있으나, Feature 개념을 적용한 CAD 모델링 방식은 아직까지 실험실 수준의 단계에 있는 것으로 파악된다.

용접판 구조물(Welded Plate Construction : WPC)은 일정한 두께를 갖는 여러장의 판(Plate)으로 이루어진 판 구조물이며, 이들 판이 결합될 때는 일정한 이음(Joint)형태로 결합된다. 이러한 이음 관계는 용접 공정의 특성을 포함하고 있어서 용접 구조물을 표현하는 Feature의 한 종류로 사용될 수 있다. 일반적인 기계 부품이나 용접판 구조물의 조립 과정은 부품의 조립이라는 관점에서 보면 비슷하게 보이지만 Table. 1에 나타난 바와 같이 여러가지 차이가 존재한다. 기계 부품의 조립은 "Design for Assembly" 개념에 의해 순서적으로 작업이 가능하고, 따라서 부품간의 관계가 계층적 자료 구조를 갖을 수 있지만, 용접판 구조물의 조립은 작업이 부품이 결합됨에 따라 병렬적(다대다 대응)으로 발생되므로 부품간의 관계는 네트워크 형식의 구조로 표현되어야 한다.

일반적으로 NC 가공을 위한 곡면 모델러가 모델상의 각 점 및 각 점에서의 법선 벡터를 계산하여 공구 경로를 자동으로 산출해 줄 수 있는 것처럼, 용접판 구조물을 위한 모델러는 로봇용접 작업을 위해 용접선 리스트 및 용접 토치의 orientation 벡터를 자동으로 산출해 줄 수 있도록 모델링 되어야 한다. 더 나아가, NC 가공을 위한 모델러가 황삭 계획등의 가공 공정 계획에 도움을 줄 수 있어야 하는 것처럼, 용접판 구조물을 위한 모델러도 용접 순서 지정, 충돌 회피 계획등의 용접 공정 계획에 도움을 줄 수 있어야 한다.

본 연구에서는 용접판 구조물의 Feature를 정의하고, 이를 이용하여 Feature 기반으로 용접판 구조물을 모델링하는 방법에 대해 살펴보기로 한다. 이 방법은 기존의 모델링 방법에 비해 다음과 같은 잇점이 있을 것으로 생각된다. 첫째, 기존의 Solid Modeller에서 처럼, Feature를 새롭게 정의하거나 찾지 않음으로써 용접판 구조물의 모델링을 손쉽게 할 수 있다. 둘째, 모델링 결과 생성된 용접판 구조물의 모델, Feature Lists 및 기타 정보들을 이용하게 함으로써 다음 단계에서 공정계획 및 로봇 데이터(IR-Data)를 얻어낼 수 있도록

Table 1. 기계 부품 조립과 용접판 구조물 조립의 비교

	기 계 부 품	용 접 판 구 조 물
단일부품 형태	일반적인 기계부품 <sup>(8, 9)</sup> (shaft, screw, nut, bracket, fixture 등)	일정한 두께를 갖는 판 <sup>(15)</sup> (plate, cylinder)
결합조건	Part Relationship <sup>(13)</sup> (part-of, constraint, attachment, assembly-component)	Spatial Relationship (Tee, Butt, Lap, Corner I, Corner II, Cylindrical Tee I, Cylindrical Tee II, Cylindrical Butt)
	Mating Condition <sup>(8, 9, 14)</sup>	
Feature 분류	Part Relationship, Mating Condition, Primitive objects <sup>(8, 9, 13, 14)</sup>	Plate Feature, Joint Feature, Groove Feature, Material Feature, Precision Feature,
부품간의 위상관계	Graph Structure <sup>(8)</sup> Hierarchy Structure <sup>(9, 14)</sup>	Graph(Network) Structure
적용 로봇트	조립용 로봇트(특징 : Force Control, Wrist Compliance, Time Optimal Control)	용접용 로봇트(특징 : Trajectory Planning, Coordination with Welder, Welds Quality)

한다.

된 Feature로서, 4장에서 설명될 용접판 구성에 따른 조립 데이터의 검증에 이용된다.

## 2. Feature Library의 구성

로봇트 용접을 위한 Feature 기반 모델러에 필요한 Feature들이 Fig. 1에 정리되어 있다. Plate Feature는 용접판을 정의하는데 필요한 Feature로서, 구멍을 뚫을 수 있도록 Hole을 포함한다. 여기서 Hole은 일련의 직선 및 곡선이 연결된 형태로서, 다수개의 Hole도 표현 가능하다. 또한 평판(Plate)에 굽힘 작업을 한 Bending된 형태의 곡판(Bended Plate)도 Plate Feature의 한 종류가 된다. Joint Feature는 두 용접판 사이의 공간상의 결합을 위한 Feature이며 결합관계에 따라 Tee, Butt, Lap, Corner등이 있다(Fig. 2). Bend도 Joint Feature의 특이한 경우로 볼 수 있겠으나 공정의 흐름을 고려하여 Plate Feature에 포함시켰다. Groove Feature는 용접 작업과 관련된 Feature로서 용접 부분의 한쪽 또는 양쪽을 모두 용접할 것인지와 그루브 형상 및 다층 용접의 경우 필요한 층용접 횟수를 표현한다(Fig. 3). Material Feature는 용접물의 재질에 관련된 Feature로서 용가재 및 전압, 전류등의 용접 조건<sup>(16)</sup>을 결정할 때 이용되며 또한 굽은 판을 만들기 위해 중립 축(neutral axis)까지의 거리( $t$ : Fig. 4)를 계산하기 위해서도 이용된다. Precision Feature는 치수(Size) 및 형상(Shape)의 공차에 관련

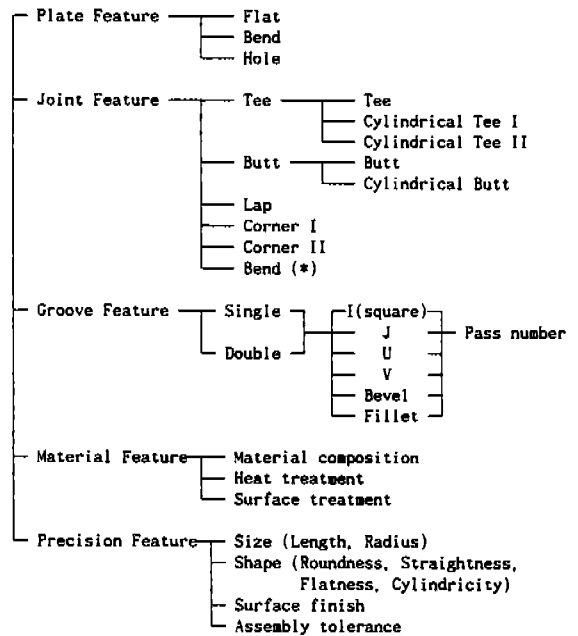


Fig. 1 Feature classification

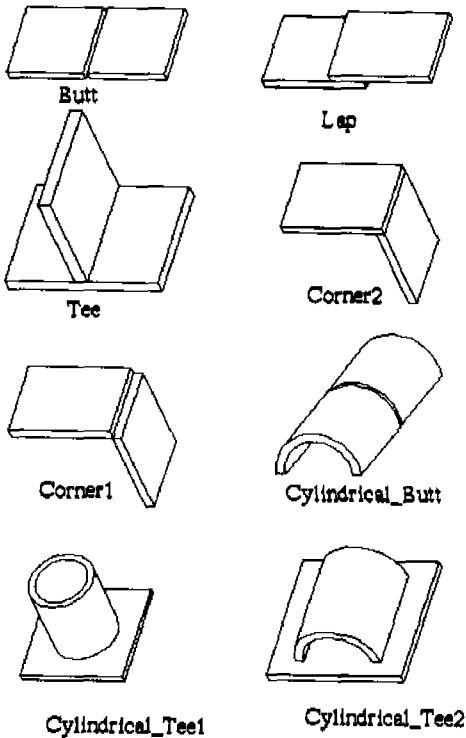


Fig. 2 Joint Feature

	Single	Double
Fillet		
I		
Bevel		
V		
J		
U		

○ Weld line  
 → Normal Vector

Fig. 3 Groove Feature

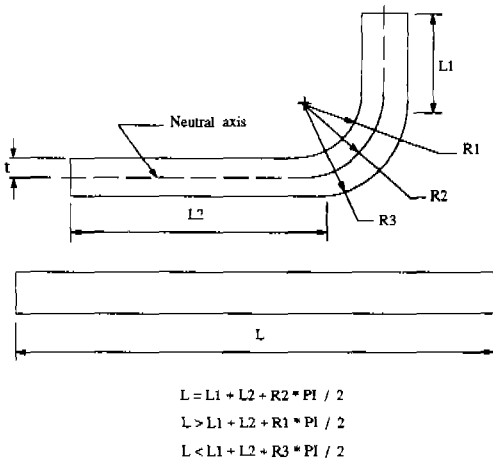


Fig. 4 Neutral Axis of a Bended Plate<sup>(17)</sup>

### 3. 용접판의 정의

용접판 구조물은 자기 다른 두께를 지닌 판의 집합체

이므로 용접판의 표현을 위해서는 Fig. 5와 같은 기준면 (Reference Plane)<sup>(15)</sup> 또는 중립면 (Neutral Plane)<sup>(17)</sup>의 개념을 도입하는 것이 유용하다. 이 개념을 이용해 용접판을 두께가 없는 2차원 기준면과 두께 (Thickness)로 정의한다. 필요할 경우 기준면에 다수의 복합 곡선으로 표현 가능한 Hole을 정의할 수 있고, 곡판을 만들기 위해 굽힘정보 즉 Bending Line, Bending Angle, Bending Radius를 포함시킨다. Fig. 6에 용접판을 위한 자료 구조가 나타나 있다. 판의 두께, 기준면에서의 판의 형상을 정의한 Loop 자료로의 포인터 및 Bend 자료로의 포인터로 이루어져 있다. Loop는 Hole Loop 자료로의 포인터와 Close Loop를 이루는 각 Element (line 또는 arc) 자료로의 포인터를 포함한다. 여기서 arc는 circular 형태만 가능하다. Bend는 굽힘에 관한 정보들 (Bending Line, Angle, Radius) 및 다음 Bend 정보로의 포인터로 이루어져 있다. 용접판의 정의가 끝나면 Material Feature를 고

려하여 펼친 길이를 계산한 2차원 용접판 형상 화일을 생성한다.

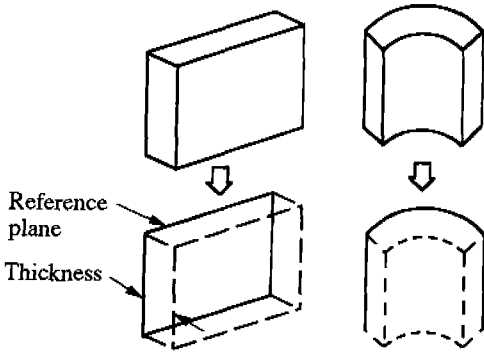


Fig. 5 Reference Plane

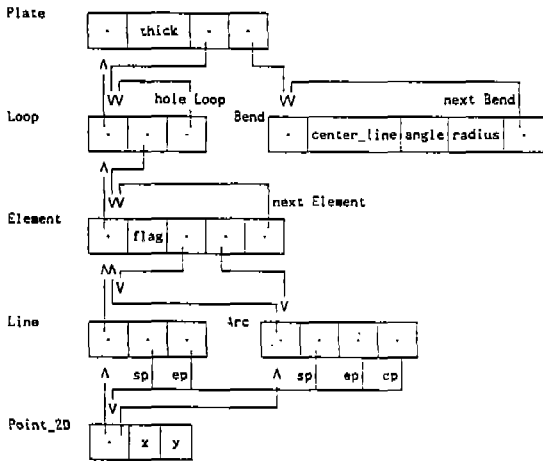


Fig. 6 Plate Data Structure

#### 4. 모델링 시스템

2장에서 정의한 Feature를 이용하여 용접판 구조물을 모델링하는 흐름도는 Fig. 7과 같다. 우선 Plate Design 단계에서 Plate Feature를 이용하여 용접되어야 할 용접판들을 정의한다. 다음으로 조립체 변환 (Assembly Transformation), 조립 데이터의 검증 (Correct Assembly Checking), 그리고 용접선 정의 (Weld Line Definition)를 단계별로 수행한다.

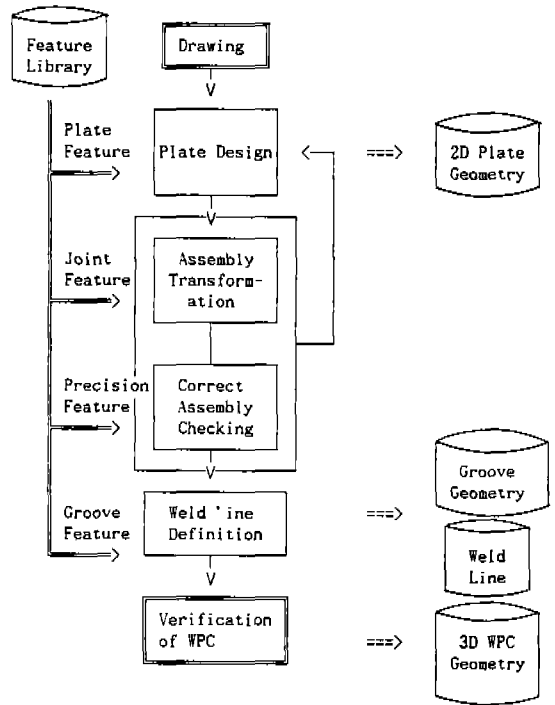


Fig. 7 A Feature Based Modeling System for WPC

#### 4.1 조립체 변환

조립체 변환 단계는 용접판 구조물에 새로운 용접판을 추가하기 위하여 Joint Feature를 이용하여 양자간의 공간 관계(Spatial Relationship)를 설정시키는 단계이다. 공간 관계의 설정을 위해서는 동차 변환(homogeneous transformation) (18)을 이용한다. 각 Joint Feature에 대하여 공간 관계 정의에 필요한 정보는 다음과 같다.

- Butt : face\_m, face\_s, shear, match, direction, gap
- Lap : face\_m, face\_s, shear, match, direction, lap
- Corner I : face\_m, face\_s, shear, match, direction
- Corner II : face\_m, face\_s, shear, match, direction
- Tee : face\_m, face\_s, shear, match, direction, center\_line

- C-Tee I : face\_m, face\_s, shear, match, centerline
- C-Tee II : face\_m, face\_s, shear, match, centerpoint
- C-Butt : face\_m, face\_s, shear, gap
- Bend(\*) : face\_m, face\_s, angle, radius

여기서 face-m은 공간 관계를 위한 용접판 구조물의 면을, face-s는 새로운 용접판의 면을 나타낸다. Match는 face-m과 face-s에서 공간 관계의 기준을 기준면으로 할 것인지 또는 기준면에서 두께만큼 윤행(offset)된 윤행면으로 할 것인지를 나타내며, Direction은 기준면끼리 마주보는지 또는 기준면과 윤행면이 마주보는지를 나타낸다(부록 참조). Shear의 의미 및 Gap, Lap, center line, center point의 의미는 Fig.8에 나타나 있다. Fig.9는 2개의 Plate를 Joint Feature 'CORNER II'를 이용하여 결합한 예를 보여 주고 있다. Plate의 결합은 현재 용접 공정중의 판 구조물에 새로운 판이 설계자가 미리 정한 순서대로 결합될 수도 있고, 혹은 기존의 부분 조립체(sub-assembly)끼리 공간 관계를 이용하여 결합될 수도 있다.

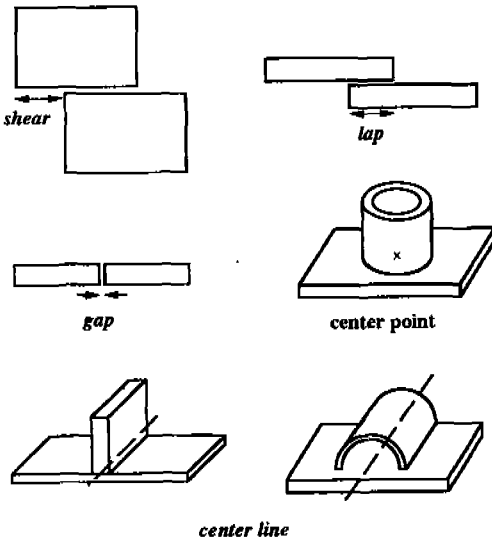


Fig. 8 Shear, Gap, Lap, Center line, Center point

서로 공간 관계를 유지하는 두 Plate Pi와 Pj 사이의 사이의 정보를 저장하기 위하여 다음과 같은 자료구

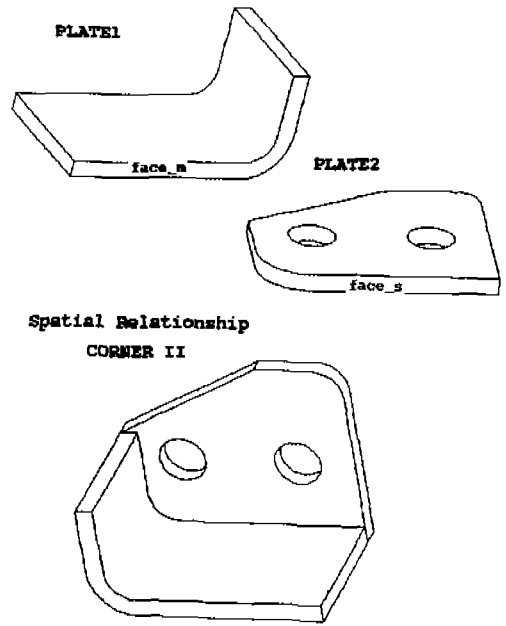


Fig.9 Assembly Transformation

조 S-R(i, j)가 필요하게 된다.

joint	fi	fj	shear	match	direction	location	weldline
-------	----	----	-------	-------	-----------	----------	----------

joint : "BUTT" or "LAP" or "TEE" or "CORNER1" or "CORNER2" or "C-TEE I" or "C-TEE II" or "C-BUTT"

fi, fj : face index of plate Pi, Pj

shear : shear length

match : match side, "UP" or "DOWN"

direction : "SAME" or "OPPOSITE"

location : if "BUTT" or "C-BUTT" then gap

if "LAP" then lap

if "Tee" or "C-Tee I" then center line

if "C-Tee II" then center point

weldline : Pointer to GROOVE(i, j)

'weldline' field는 Plate Pi와 Pj사이에 용접선이 정의된 경우, 다음에 설명할 용접선과 관련된 자료, 즉 GROOVE(i, j)로의 포인터를 가지며, 용접선이 정의되지 않은 경우 NIL 포인터를 갖는다.

#### 4.2 용접판 구성에 따른 조립 데이터의 검증

조립체 변환 단계에서 행한 변환에 의해 용접 구조물

이 형성되었을 때 과연 올바르게 각 Plate들이 결합되었는지를 검증하는 단계, 즉 Correct Assembly Checking 단계이다. 검증하는 방법은 서로 다른 경로를 통해 생성된 두 판 사이의 기하학적 관계가 적합한지를 체크한다. Fig. 10은 Plate의 조립 데이터를 검증하는 예를 보여주고 있다. Plate1에 공간 관계 S-R(1, 2)를 통하여 Plate2를 형성하고, 또 하나의 공간 관계 S-R(1, 3)를 통하여 Plate3을 형성하였다. 이때 다음과 같은 동차 행렬(18)을 이용한 알고리즘을 사용하여 Plate2의 점 V2와 Plate3의 점 V3가 허용 오차내에 존재하는가를 체크한다.

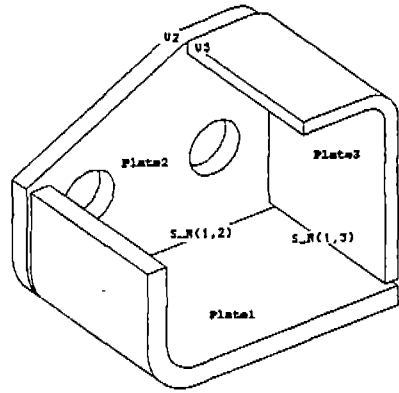


Fig. 10 Correct Assembly Checking

Err = (plate2T<sub>plate2</sub>) (plate2V<sub>2</sub>) - (plate1T<sub>plate3</sub>) (plate3V<sub>3</sub>)  
 IF  $\sqrt{\text{Err} \cdot \text{Err}}$  tolerance THEN ok  
 ELSE check plate geometry and S-R

여기서, plate1T<sub>plate2</sub>는 Plate1 좌표계로부터 Plate2 좌표계까지의 변환을 나타내는 4×4 동차 행렬이며, (plate2V<sub>2</sub>)는 Plate2 좌표계에서 본 점 V2의 4×1 동차 행렬이다. plate1T<sub>plate3</sub> 및 plate3V<sub>3</sub>의 개념도 비슷하게 유추할 수 있다. Err는 점 V3에서 점 V2까지의 벡터를 나타내는 4×1 동차 행렬이다.

기존의 부분 조립체에 하나의 판을 붙이고 나면, Fig. 10에서와 같이 Plate2와 Plate3 사이에는 공간 관계를 정의하지 않아도 부가적인 기하 관계가 성립하게 된다. 용접선 정의 단계에서 설명하겠지만, Plate2와 Plate3 사이에 용접선을 정의하고 싶으면, 조립체 변환 단계에서 공간 관계 S-R(2, 3)을 미리 정의한다. 이때는 Plate2와 Plate3 사이에 기하학적인 관계는 이미 설정되어 있으므로 나중에 용접선 정의를 위해 선언하는 효과만 있다.

선들로부터, plate의 그루브 가공을 위한 그루브 형상 화일과 로보트 아크용접을 위해 용접선 및 법선벡터 화일을 생성한다. Fig. 11은 조립체 변환을 모두 수행한 이후에 용접선을 정의한 예를 보여주고 있다.

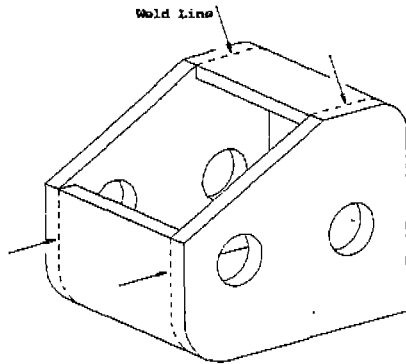


Fig. 11 An Example of Weld Line Definition

4.3 용접선의 정의

형성된 3차원 용접 구조물에 용접선을 정의하는 과정이다. 공간 관계를 이용한 조립체 변환이 수행되고 나면 용접판 구조물(WPC)이 형성된다. 이때 두판의 결합으로 생성되는 용접판 구조물의 모든 선(edge)에 용접이 필요한 것은 아니다. 따라서 용접이 필요한 선에 대해서만 용접선을 정의한다. 용접선의 정의를 위해서는 용접선의 시작 및 끝점 위치가 지정되고, Groove Feature를 이용한 그루브 형상 및 다층 용접의 경우 필요한 층용접 횟수등이 지정되어야 한다. 정의된 용접

용접선을 공유하는 두 Plate P<sub>i</sub>와 P<sub>j</sub> 사이의 그루브 형상 정보를 저장하기 위하여 다음과 같은 자료구조 GROOVE(i, j)가 필요하다.

side	type	num
------	------	-----

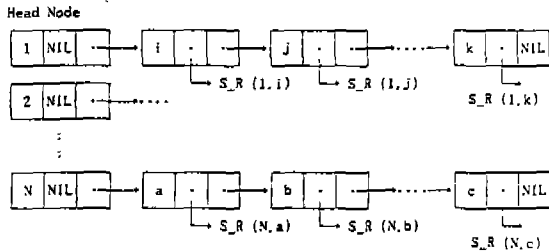
side : SINGLE or DOUBLE  
 type : I or J or U or V or BEVEL or FILLET  
 num : number of pass

### 5. 용접판 구조물을 위한 자료 구조

용접판 구조물을 위한 자료 구조에는 크게 용접판을 표현하기 위한 자료구조와 용접판 간의 관계를 표현하기 위한 자료구조로 나눌 수 있다. 용접판을 위한 자료 구조는 이미 3절에서 서술하였다. 용접판 간의 관계를 위한 자료구조에는 Adjacency List와 Adjacency Matrix가 있다.

#### 5.1 Adjacency List

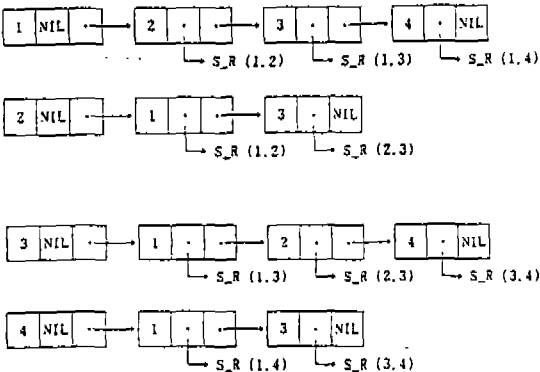
Adjacency List는 다음과 같이 각 Plate에 대하여 그 Plate와 공간 관계를 유지하는 다른 Plate들의 Index 및 그 S-R 자료로의 Pointer를 Linked List로 연결한 자료구조이다.



N : Number of Plates

i, j, k, a, b, c : 1 ≤ plate index ≤ N

Adjacency List를 이용하여 Plate 간의 관계를 정립할 수 있고 Plate Geometry File로부터 WPC Geometry File을 생성할 수 있다. Fig. 11의 용접판 구조물에 대한 Adjacency List를 구성해 보면 다음과 같다.



#### 5.2 Adjacency Matrix

Adjacency Matrix는 다음과 같이 모든 Plate Index를 행 및 열로 나열했을 때 그 행렬의 내용으로 공간 관계의 존재 유무 및 용접선의 존재 유무를 표시하는 정방행렬이다. Adjacency Matrix는 Adjacency List로부터 얻을 수 있는데 리스트를 탐색하지 않고도 쉽게 Plate간의 관계를 파악할 수 있어서 모델링 후 공정 계획등에 유용하게 사용될 수 있는 정보이다.

	1	2	3	..	..	N
1	·	m12	m13	..	..	m1N
2		·	m23	..	..	m2N
3			·	..	..	m3N
⋮				·	..	..
⋮					·	..
N						·

$m_{ij}$ 

- 0 : no S\_R (i, j) exists
- 1 : only S\_R (i, j) exists
- 2 : S\_R (i, j) and GROOVE (i, j) exist

N : Number of Plates

Fig. 11의 용접판 구조물에 대한 Adjacency Matrix를 구성해 보면 다음과 같다.

	1	2	3	4
1	·	2	2	2
2		·	2	0
3			·	2
4				·

### 6. 용접판 구조물의 형성 예

Prototype 모델러를 개발하기 위하여 H/W로는 Silicongraphics 사의 'IRIS' 워크스테이션과 레이저 프린터를 이용하였다. 그리고 S/W로는 Parametric Technology Corporation 사의 'Pro/ENGINEER'와 'IRIS'의 그래픽 라이브러리인 'GL' 그리고 C언어를 이용하였다. 본 연구와 같은 용접판 구조물을 위한 모



델러를 이용하여 모델링이 가능한 제품들은 산업 현장에 다수 존재한다고 생각되며 Fig. 17에 몇개의 모델링 예를 들었다. Fig. 17에서 Center Frame은 기준면만을 표현하였다.

Prototype 모델러를 이용하여 용접한 구조물의 적용 예인 Excavator의 Center Frame을 모델링하는 과정을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

단계1 : 용접판의 정의 단계

초기의 Feature Library에는 Fig. 1에 나타난 바와 같은 Feature 항목이 있는바, 이중 Plate Feature를 이용하여 Center Frame을 이루는 Plate를 정의한다 (Fig. 12 참조).

단계2 : 조립체 변환 단계

Feature Library의 Joint Feature를 이용하여 Plate와 Plate, Plate와 부분 조립체 또는 부분 조립체끼리의 결합(Assembly Transformation)을 수행한다 (Fig. 13 참조). 이때 Spatial Relationship을 지정하기 위해 joint, face(edge), shear, match, direction, location 정보가 입력되어 사용된다.

단계3 : 조립 데이터의 검증 단계

4.2절에 설명된 Precision Feature의 tolerance가 이용되어 조립 데이터의 검증 작업이 수행된다. 이때 부분 조립체 형태의 용접한 구조물이 정확히 결합되었는지 검토한다.

단계4 : 반복 작업 단계

Center Frame의 형상이 아직 완성되지 않았으면 단계1로 가서 Plate를 계속 정의하든지 단계2로 가서 조립을 계속 수행한다.

단계5 : 용접선의 정의 단계

두 Plate 사이에 생성된 face(edge) 기하 데이터로부터 용접선의 위치를 지정하고, Groove Feature를 이용하여 Fig. 3에 나타난 바 Groove의 형상을 정의한다 (Fig. 14 참조).

단계6 : 모델 완성 단계

모델이 완성되면 3차원 용접한 구조물 형상 화일, 그루브 형상 화일, 용접선 화일이 생성된다. Fig. 15는 그루브 형상 화일의 내용으로서 그루브 별로 관련된 두 용접판의 번호 및 side, type, num이 나타나 있다. Fig. 16은 용접선 화일의 내용으로서 용접선별로 시작점과 끝점, 용접 로봇의 토치가 접근하기 위한 법선 벡터 및 관련된 두 용접판들이 나타나 있다. 이들 정보

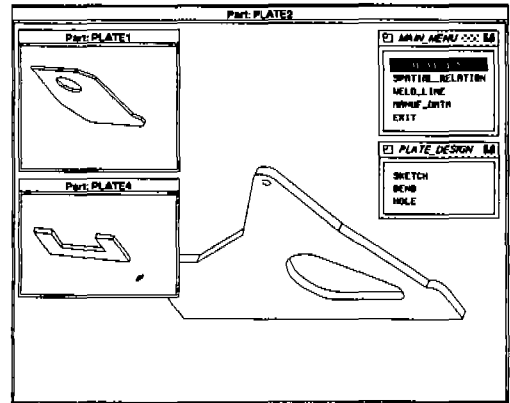


Fig. 12 Excavator Example : Plate Design Stage

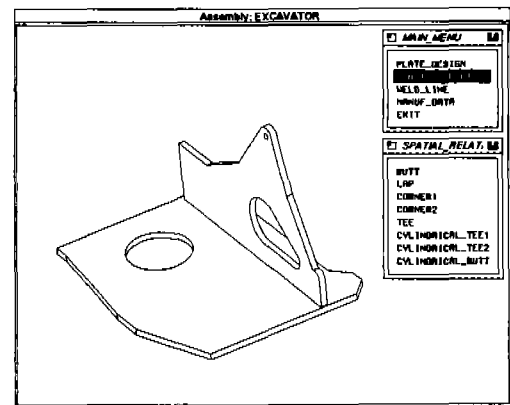


Fig. 13 Excavator Example : Assembly Transformation Stage

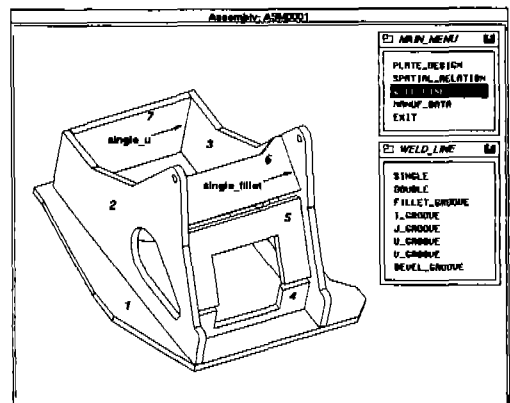


Fig. 14 Excavator Example : Weld Line Definition Stage

GROOVE SIDE	TYPE	PASS
(1,2)	double fillet	3
(1,3)	double fillet	3
(2,4)	single fillet	1
(2,5)	single fillet	1
(2,6)	single fillet	1
(2,7)	single u	2
(3,4)	single fillet	1
(3,5)	single fillet	1
(3,6)	single fillet	1
(3,7)	single u	2

Fig. 15 Excavator Example : Groove Geometry Data File

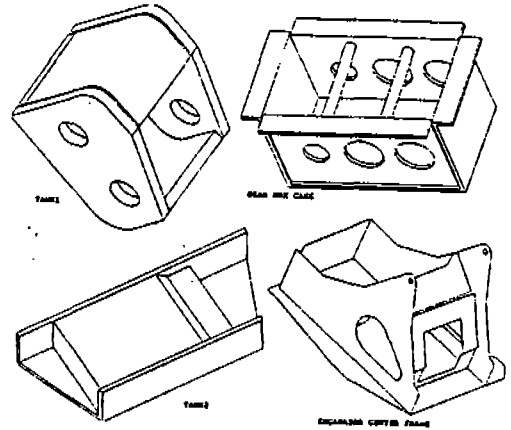


Fig. 17 Examples of Welded Plate Construction

WELD LINE	NORMAL VECTOR	GROOVE
0..0..20..0..750..20.	-1..0..1.	(1,2)
20..0..20..20..750..20.	1..0..1.	(1,2)
480..0..20..480..750..20.	-1..0..1.	(1,3)
500..0..20..500..750..20.	1..0..1.	(1,3)
20..100..20..20..100..100.	1..-1..0.	(2,4)
20..100..110..20..200..350.	1..-1..0.417	(2,5)
20..200..360..20..350..510.	1..-1..1.	(2,5)
20..730..20..20..730..200.	1..-1..0.	(2,7)
480..100..20..480..100..100.	-1..-1..0.	(3,4)
480..100..110..480..200..350.	-1..-1..0.417	(3,5)
480..200..360..480..350..510.	-1..-1..1.	(3,6)
480..730..20..480..730..200.	-1..-1..0.	(3,7)

Fig. 16 Excavator Example : Weld Line Data File

는 용접 공정 계획, 즉 용접 순서 지정, 로봇트 경로 계획, 용접 scheduling 등에 사용된다.

## 7. 결 론

용접판 구조물은 일정한 두께를 갖는 판들이 특정한 이음 형태로 결합되며 이러한 이음관계는 후속 용접 작업에 이용된다. 이점에 착안하여 용접판 구조물을 위한 Feature를 정의하고 Feature Library를 구성하였다. 그리고 Feature Library로부터 용접판을 정의하고 용접판 구조물을 형성한 후 용접선을 정의할 수 있도록 하였다. 또한 Prototype 모델러를 개발하여 현업에 적용되는 몇개의 용접판 구조물을 모델링해 보았다. 본 연구의 의의를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 기존의 솔리드 모델링 방식에 의존하지 않고, 현장 응용 가능한 Feature 기반 방식의 WPC 모델링에 관한 연구를 수행하였다. 둘째, 기존의 Feature 기반 모델링 방법이

기계 부품의 조립 분야에 주로 행해진 반면 본 연구는 아크 용접 작업물을 대상으로 하여 그 영역을 확장시켰다. 셋째, 개념설계에 머무르지 않고 워크스테이션 수준의 Prototype 모델러를 개발하였다.

그러나 실제 현업에 적용되는 용접판은 본 연구에서 허용하는 용접판보다 모양이 복잡한 3차원 형상의 경우가 많다. 따라서 앞으로 외곽선이 직선과 원호외에 곡선(spline)으로 이루어진 판의 표현 및 곡면판의 표현에 대한 보완 연구가 필요하다. 또한 온라인 응용가능한 시스템으로 개발된 본 모델링 시스템의 활용적 측면, 즉 공정계획 및 로봇트 본 용접 단계에서의 사용에 대한 체계적 검증작업이 추가적으로 요구된다고 하겠다.

## 참고문헌

1. Chang, T. C. and Wysk, R. A., An Introduction to Automated Process Planning Systems, Prentice-Hall, 1985.
2. Henderson, M. R. and Anderson, D. C., "Computer Recognition and Extraction of Form Features : A CAD/CAM Link", Computers in Industry, Vol. 5, No. 4, 1984.
3. Suh, Hyowon, "Shape Feature Generation for Concurrent Engineering Environment", Ph. D Dissertation, West Virginia University, WV, 1991.

4. Luby, S. C., Dixon, J. R. and Simmons, M. K., "Creating and Using a Features Database", Computers in Mechanical Engineering, Vol. 18, No. 20, 1986.
5. Shah, J. J. and Rogers, M. T., "Functional requirements and conceptual design of the Feature-Based Modelling System", Computer Aided Engineering Journal, February, 1988.
6. Choi, B. K., Chung, J. Y., Kim, D. W., "Development of a Graphic Simulation Modeller for Robot Welding Process Planning", Jr. of KIIE, Vol. 11, No. 1, 1985.
7. 최병규, 김동원, 아크용접용 로봇 시뮬레이션 개발에 관한 연구, 산학협동 연구보고서, 한국과학기술원, 1988.
8. Lee, K. and Gosssard, D. C., A Hierarchical Data Structure for Representing Assemblies : Part I", CAD, Vol. 17, No. 1, 1985.
9. Ko, H. and Lee, K., "Automatic Assembling Procedure Generation from Mating Conditions", CAD, Vol. 19, No. 1, 1987.
10. Hummel, K. E., Brooks, S. L., "Symbolic Representation of Manufacturing Features for an Automated Process Planning System", Proceedings of Winter Annual Meeting of the ASME, Anaheim, CA., Dec., 1986.
11. Cutkosky, M. R., Tenenbaum, J. M. and Miller, D., "Features in Process-Based Design", Proceeding of the ASME Conference on Computers in Engineering, No. 6, 1988.
12. Vaghul, M. V., Zinsmeister, G. E., Dixon, B. R. and Simmon, M. K., "Expert systems in a CAD environment : Injection molding part design as an example", Proceedings of the ASME Conference on Computers in Engineering, Boston, MA, August, 1985.
13. Wesley, M. A., Lozano-Perez, T., Liberman, L. I., Lavin, M. A. and Grossman, D. D., "A Geometric Modelling System for Automated Mechanical Assembly", IBM J. Res. Develop., Vol. 24, No. 1, Jan., 1980.
14. Kim, S. H. and Lee, K., "An Assembly Modeling System for Dynamic and Kinematic Analysis", CAD, Vol. 21, No. 1, 1989.
15. Jakobsen, K. and Fenheim, K., "Design of Complicated Assemblies of Welded Plates", CAD System Framework, Trondeim, K. B. and Lillehagenn, F. M. (ed.), North-Holland Publishing Company, 1983.
16. Sicard, P. and Levine, M. D., "An Approach to an Expert Robot Welding System", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 18, No. 2, March/April 1988.
17. Nnaji, B. O., Kang, T. S., Yeh, S., Chen, J. P., "Feature Reasoning for Sheet Metal Component", Int. Jr. Prod. Res., Vol. 29, No. 9, 1991.
18. Paul, R. P., Robot Manipulators : Mathematics, Programming, and Control, The MIT Press, 1981.

**부록. Spatial Relationship의 종류**

각 Joint Feature의 Spatial Relationship에 따라 분류 가능한 Match(UP 또는 DOWN) 및 Direction (SAME 또는 OPPOSITE)이 Fig.18에 소개되어 있다.

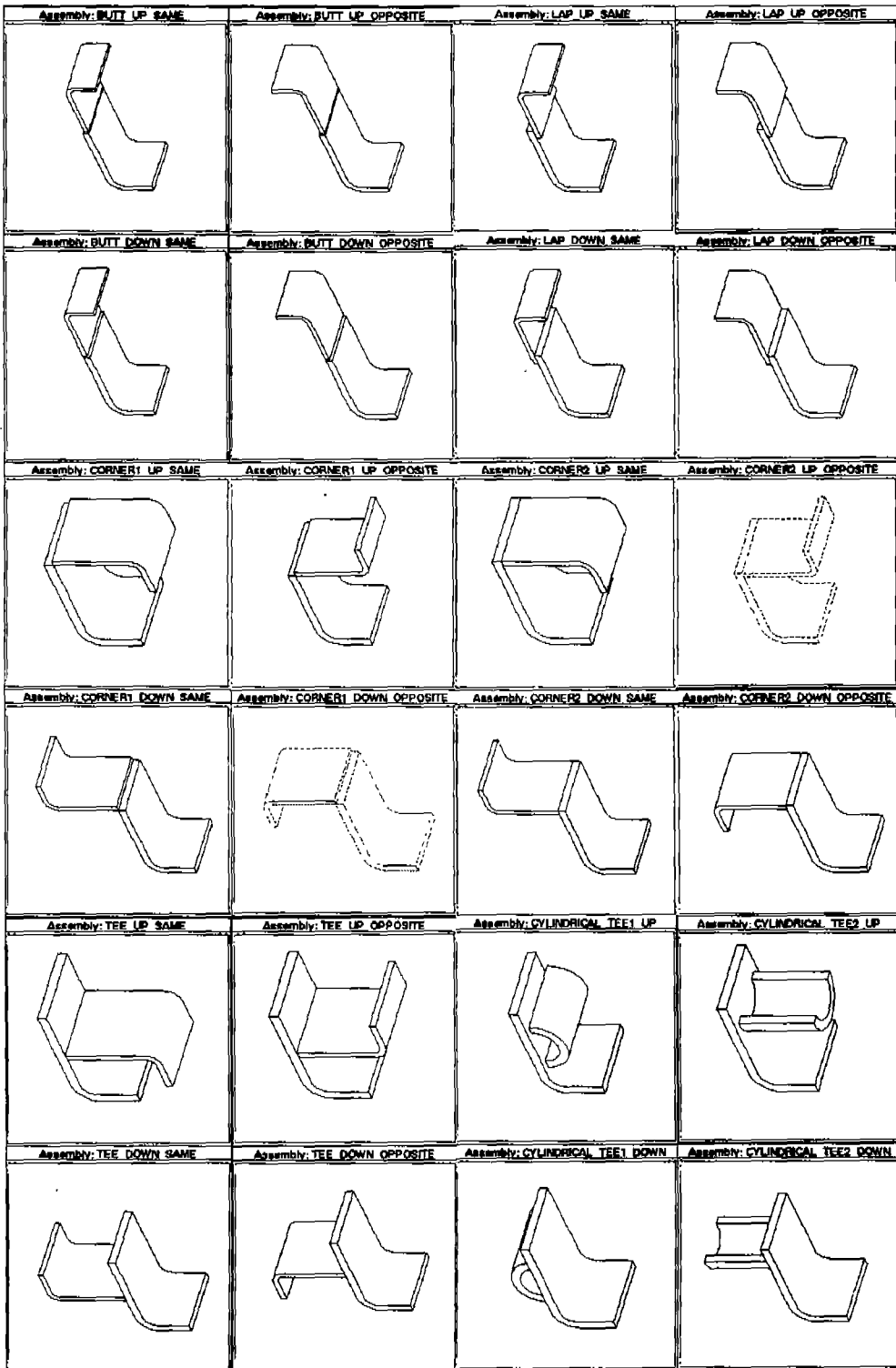


Fig.18 Types of Spatial Relationships