

로봇트 용접 공정 계획을 위한

Graphic Simulation Modeller의 개발*

(Development of a Graphic Simulation Modeller for
Robot Welding Process Planning)

최 병 규**
정 재 윤***
김 동 원**

Abstract

Presented in this paper is a procedure of developing graphical simulation software for planning robot welding processes. Welding is by far the highest application area for industrial robots, and it has been in great need of such a simulator in designing robot work cells, in justifying the economics of robot welding and in planning robotized welding operations.

The model of a robot welding cell consists of four components: They are a welding structure which is a collection of plates to be welded, a positioner to hold the welding structure, a robot with a weld torch, and a set of welding lines (in case of arc welding). Welding structure is modeled by using the reference plane concept and is represented as boundary file which is widely used in solid modeling. Robot itself is modeled as a kinematic linkage system. Also included in the model are such technical constraints as weaving patterns and inclination allowances for each weld joint type.

An interactive means is provided to input the welding structure and welding lines on a graphics terminal. Upon completion of input, the program displays the welding structure and welding lines and calculates the center of mass which is used in determining positioner configurations. For a given positioner and robot configuration, the welding line segments that can be covered by the robot are identified, enabling to calculate the robot weld ratio and cycle time. The program is written in FORTRAN for a VAX computer with a Tektronix 4114 graphic terminal.

* 본 연구는 매우 중공업과의 산학협동 연구에 의한 것이다.

연구에 도움을 준 강 영국 전부와 기계기술 연구소의 여러분께 감사 드린다.

** 한국과학 기술원

*** 한국 종합 기계

1. 서 론

산업용 로봇이 국내 기술에 의하여 개발, 보급 되는 단계에 이르고 있고, 용접 공정을 중심으로 상당 수의 산업용 로봇이 이미 국내 기업체에서 활용되고 있다.

그러나 로봇을 도입한 기업의 실정을 살펴보면, 기대를 갖고 고액의 설비 투자를 행하였음에도 불구하고 중도에서 사용을 포기하여 버린 기업도 적지 않다. 이러한 실상은 로봇 자체의 성능부족, 선행 작업 공정의 정도등 여러가지 복합적인 요소에 의한 결과이겠지만, 그중에 하나 중요한 원인으로 손꼽히는 것은 로봇 도입 준비 작업에 대한 체계적인 연구의 부족이라는 것이다. 그래서 선진 제국에서는 전통적인 산업 공학의 작업 계획법과 Computer Graphics 를 이용하는 등 여러가지로 연구가 진행되고 있으며, 국내에서도 이 분야에 대한 관심도가 증가하고 있다.

로봇에 의한 용접은 자동차 등의 생산 현장에서 주된 제조 공정을 차지하고 있으며, 선진국의 경우 로봇 도입 사례의 35%가 용접 분야이고 (2) 우리 나라에서도 로봇 도입의 대부분이 용접 공정의 자동화를 위한 것이다.

본 연구에서는 로봇 용접 작업의 특성과 Computer Graphic Simulation Modeller(이하 Graphical Modeller 로 칭함) 개발의 의의를 살펴보고,

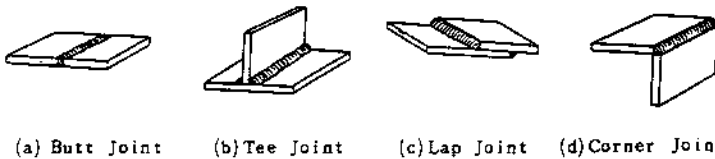
로봇화 계획을 보다 신속하고 체계적으로 수행하는데 도움을 줄 수 있는 Graphical Modeller의 개발 절차를 제시한다. 아울러 개발된 Software의 로봇 용접 공정 계획에의 적용 사례도 소개된다. 로봇 용접에 주로 이용되는 것은 GMAW(Gas Metal Arc Welding)와 Spot 용접인데 여기서는 GMAW용접에 대해서만 다루기로 한다.

2. Graphical Modeller 개발의 의의

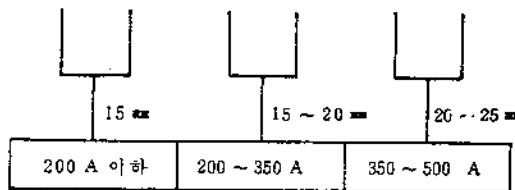
2-1. 용접 작업의 특성

Arc 용접에 관한 기술적인 측면에서 중요시 되는 것으로 다음의 네 가지를 들 수 있다.

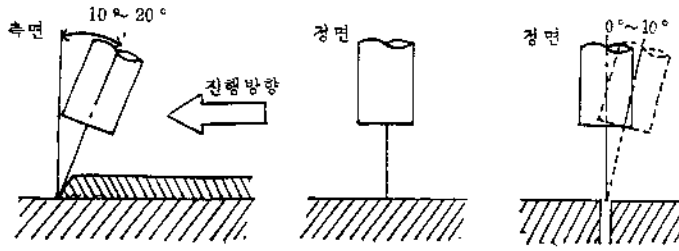
- 1) 용접 Joint 의 형태(그림 2·1)
- 2) 용접 종류에 따른 용접 모재와 Nozzle 간의 거리(그림 2·2)
- 3) 용접 형태에 따른 Torch 각도 진행 방향— Butt 용접은 하향 용접 자세를 취하는 것이 좋고(그림 2·3) Fillet 용접도 하향 자세가 좋으나(그림 2·4), 이 자세를 취할 수 없는 경우는 그림 2·5 처럼 수평 용접을 해도 무방하다. (3)
- 4) 용접 Torch 의 운봉법(Weaving Pattern) (그림 2·6)



〈그림 2.1〉 용접 JOINT의 분류

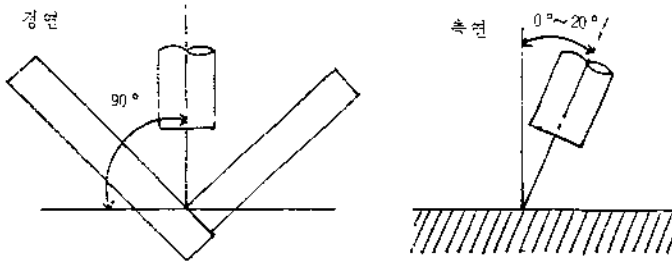


〈그림 2.2〉 NOZZLE과 모재간 거리

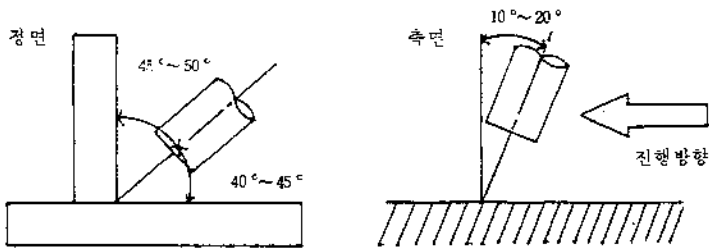


(a) Gap이 없는 경우 (b) Gap이 있는 경우

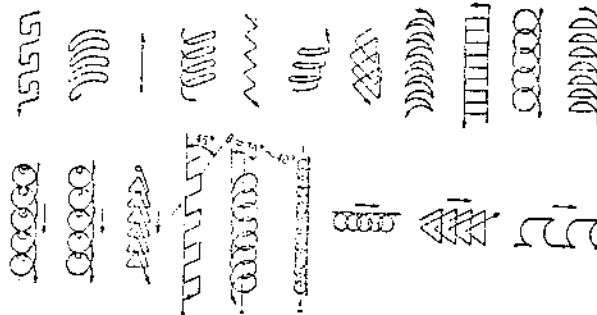
〈그림 2·3〉 하향 Butt용접



〈그림 2·4〉 하향 Fillet용접



〈그림 2·5〉 수평 Fillet용접



〈그림 2·6〉 수평 용접의 파 형태

2.2. 로봇 용접 작업의 특성

로봇 용접은 비교적 나쁜 작업 환경에서도 높은 생산성을 나타내고, 전용기계에 비해 fixturing이 간단하며, 수동 용접에 비해 용접질이 우수하고 균일하다는 장점을 갖고 있다. 그러나 수동 용접보다 고속 작업이므로 성공적인 용접을 하기 위해서는 용접 Torch의 움직임뿐 아니라 Positioner도 항상 이상적인 용접 자세를 취하는 것이 바람직하다. 로봇 용접시 고려해야 할 사항은 다음과 같다. 1) 용접 구조물의 경사도, 2) Weaving, 3) 용접 Torch의 용접 자세, 4) 용접 구조물과 로봇과의 간섭 현상, 5) 용접 모재, Torch의 위치 오차, 6) 로봇의 Inverse Solution 존재 유무, 7) 로봇의 작업 공간 등이다.

2.3. 용접 공정 계획을 위한 Graphical Modeller 개발의 필요성

생산 라인에 로봇을 도입하고 작업공정 계획을 세울 때는 보통 미리 그 상황을 수작업이나 Graphic Simulator를 통해서 simulation하게 된다. 이때 simulation의 도구로 효과적인 것이 Interactive Computer Graphic Simulation System으로, 이것은 작업장의 시각화를 가능하게 하여 로봇 기능 분석과 작업장 배치에 유용하게 사용될 수 있다.

현재 개발된 Robot Graphic Simulation Package는 SAMMIE [4], PLACE [5], Robot - SIM

[5], Robographix [5] 등으로 이들은 일반적으로 Graphics의 도구로 Wire Frame, Solid Modelling Software를 사용하고 있다. 그러나 이들의 자료 구조는 Analytical하게 표현하기 힘든 일반적인 3차원 형상의 구조물을 쉽게 표현할 수 없어서, 각각의 용접 Joint의 형상에 따라 로봇의 용접 자세를 취하고, 용접 Torch의 진행 방향을 정하며, 용이하게 로봇의 구조물의 간섭 현상을 조사하는데 어려움이 많다.

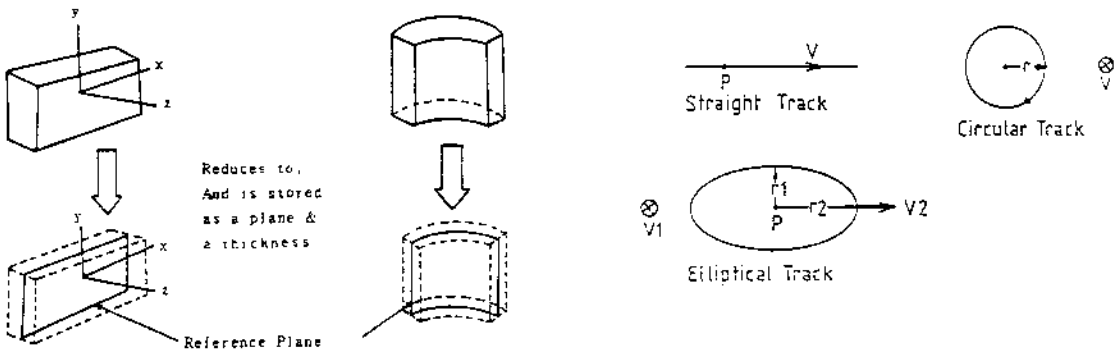
또한 복잡한 용접 구조물, 용접선의 정보를 충분히 저장할 자료 구조가 필요하다는 용접 구조물 표현상의 제약 사항도 보다 효과적인 Graphical Modeller의 지속적인 개발을 요청하는 요소중의 하나이다.

3. Graphical Modelling

3.1. 용접 구조물의 표현 및 자료 구조

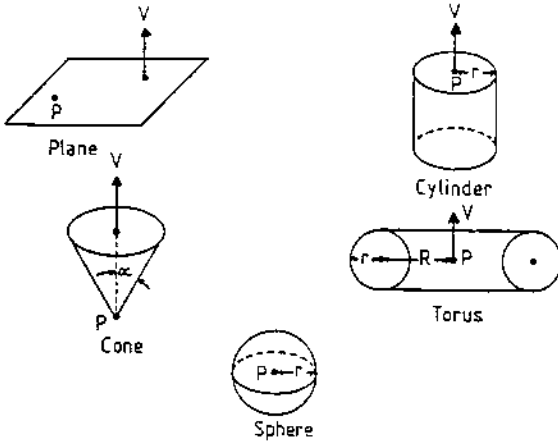
용접 구조물은 각기 다른 두께를 지닌 판의 집합체이므로 용접 구조물의 표현을 위해서는 Reference Plane의 개념 [6]을 도입하는 것이 유용하다.

이 개념에 따르면 용접판을 두께가 없는 판(Plane)으로 표시하며, 두께는 자료 구조에 저장되어 차후 계산에 이용된다. 그림 3-1은 Reference Plane의 개념을 설명한 것이다.



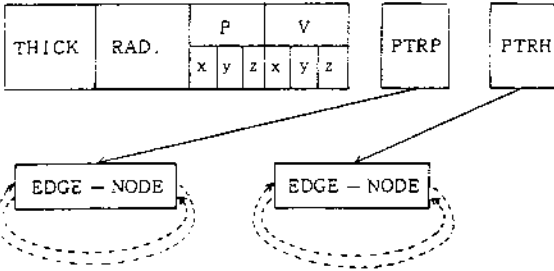
(그림 3-2) Edge(track)의 정의

(그림 3-1) Reference Plane의 개념



(그림 3·3) Surface의 정의

FACE(1..n) :



(a) Surface Data Structure

Surface type	Thick	Rad.	P(x, y, z)	V(x, y, z)
Planar	Thickness	Zero	Point on Surface	Normal Vector
Cylindrical	Thickness	Radius	center point	Axis-Vector

(b) Surface Definitions

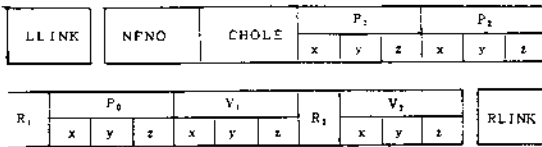
(그림 3·4) Surface 자료구조의 정의

각 판의 Reference Plane 이 정의되면 그 Plane 들은 형태에 따라 몇가지 Surface 로 분류되며, 그 Surface 를 에워싼 Edge(Track)도 몇개로 분류할 수 있다. 그림 3·2와 그림 3·3은 각각 여기서 사용된 Edge와 Surface 를 정의한 것이다.

용접 구조물을 이루는 각 판들은 앞에서 정의된 Edge 및 Surface 의 정보를 충분히 표현할 자료 구조를 가져야 한다.

그림 3·4와 그림 3·5는 각각 Surface와 Edge의 자료 구조를 나타내고 있다. 한 Surface에 관련된 Edge node 를 지시하는 pointer 는 PTRP(periphery edge list 를 지시)와 PTRH(hole edge list 를 지시)의 두개가 있다. Surface 형은 반경을 나타내는 항인 'RAD'로 구분되는데 평면일 경우에는 RAD를 0으로 한다.

Edge node 는 Doubly Linked List 구조로 연결되어 있는데 이 구조는 Data 정보의 추가, 삭제가 용이한 잇점이 있다. 'LLINK'와 'RLINK'는 각각 바로 전과 바로 후의 node 를 지시하는 일종의 pointer 이다. Surface 와 달리 Edge 의 형은 Data 의 갯수로 구분될 수 있다. Edge 의 자료 구조중 첫 항인 'NFNO' 항은 그 Edge에 근접한 Surface 의 번호를 나타내며, 'CHOLE' 항은 periphery edge 인 경우는 항상 0이고, hole edge 중 뚫린 surface 를 이루는 edge인 경우에는 1값을 갖는다. 이들은 각각 용접 구조물과 로봇트와의 간섭 현상 조사, 용접 구조물의 무게중심 계산에 이용된다.



-LLINK: Link predecessor -NFNO: next face number
-RLINK: Link successor -CHOLE: hole edge checking node

(a) Edge-Node

Track type	P ₁ (x, y, z)	P ₂ (x, y, z)	R ₁	P ₀ (x, y, z)	V ₁ (x, y, z)	R ₂	V ₂ (x, y, z)
Straight	Start Point	End Point	-	-	-	-	-
Circular	Start Point	End Point	Radius	Center Point	Axis Vector	-	-
Elliptical	Start Point	End Point	Minor Radius	Center Point	Axis Vector	Major Radius	Vector

(b) Edge(track) Definition

(그림 3·5) Edge 자료구조 정의

3.2. 용접선의 표현 및 자료 구조

실제 용접 부위는 어느 정도의 부피를 가지나 그 부피를 고려하지 않고 한 line 으로 생각한다. 용접 선을 나타내기 위해서는 용접선이 놓여있는 surface 의 정보와 용접선을 이루는 edge 의 정보가 주어져야 한다. (그림 3·6)

WINF(1..n) :

Face 1	Sign 1	Edge 1	Face 2	Sign 2	Edge 2
--------	--------	--------	--------	--------	--------

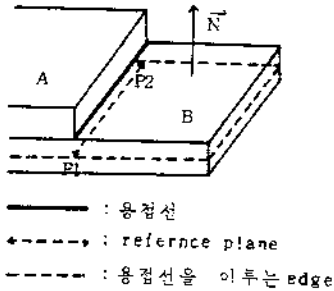
WTYPE(n) : JOINT

· Joint : Welding Joint Type

(그림 3·6) 용접선의 정보표시

이러한 정보를 가지고 판의 두께 및 용접 Joint 의 형태에 따라 edge 를 translation 시키면 용접선이 구해진다.

예를 들어 그림 3·7의 Lap Joint 의 Fillet 형 용접선의 경우, 실제 용접선은 edge $\overline{P_1P_2}$ 를 \vec{N} 방향으로 surface B의 두께의 반만큼 이동하면 정의된다.



(그림 3·7) 용접선의 정의

용접선은 edge 와 같은 형을 갖으므로 그 자료 구조도 'NFNO'와 'CHOLE'을 제외한 edge 의 자료 구조와 동일하다. (그림 3·8)

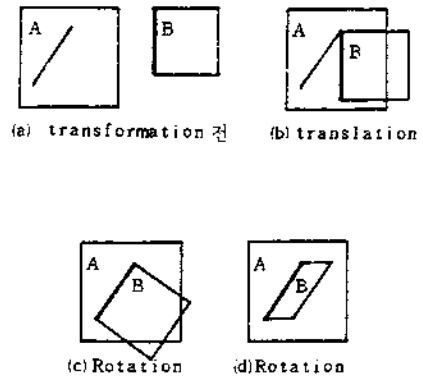
WLINE(1..n)

P ₁			P ₂			R1	P ₀			V ₁			R2	V ₂		
x	y	z	x	y	z		x	y	z	x	y	z		x	y	z

(그림 3·8) 용접선의 자료구조

3.3. 용접 구조물 형성을 위한 용접판의 공간적 관계

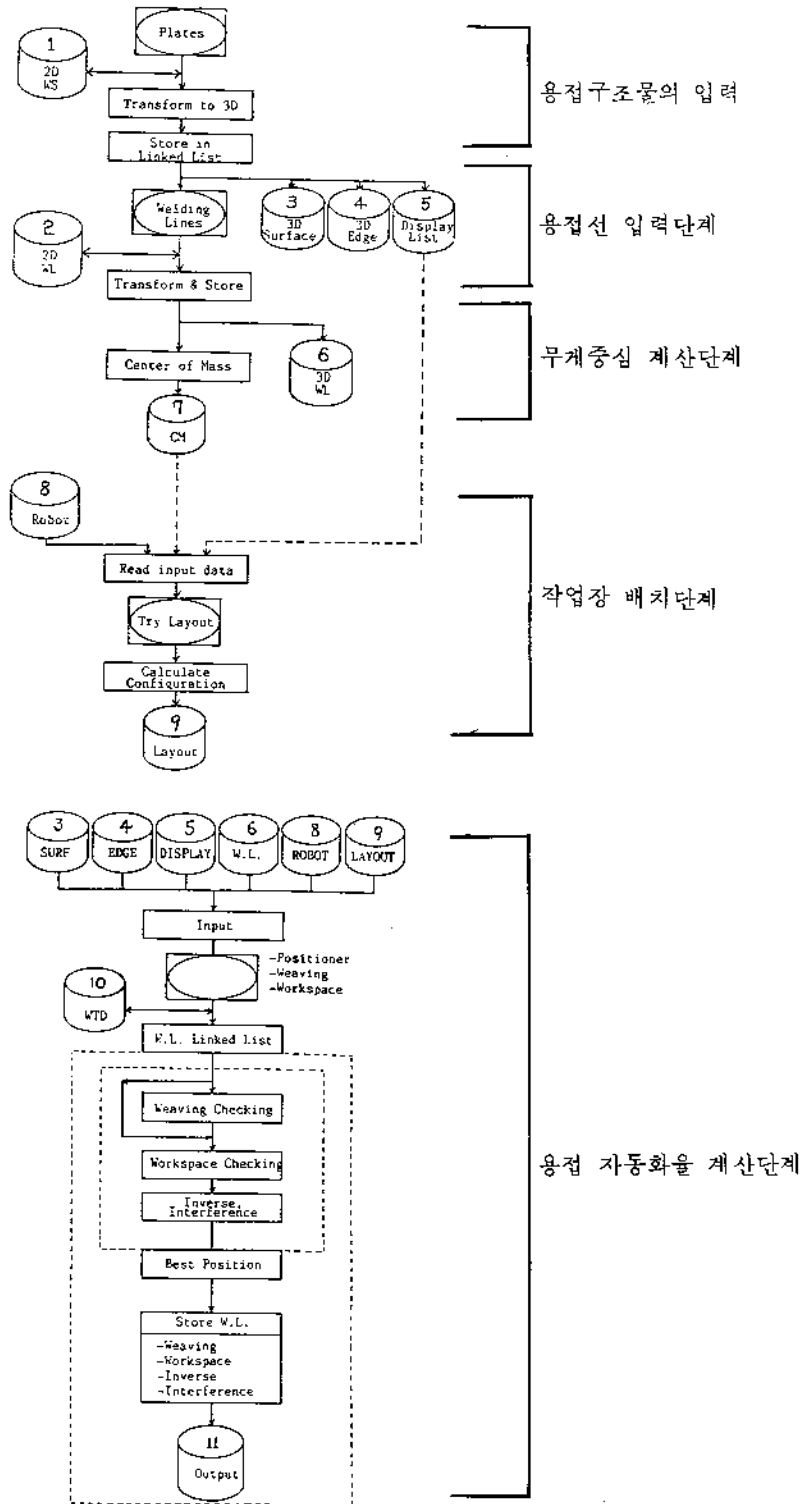
각 판의 Data 가 기준 좌표계(World Coordinate) 상의 값으로 주어지고, 각 판들의 상호 위치 관계의 정보(부록1 참조)가 주어지면 각 판들을 transformation 시켜 용접 구조물을 이루게 된다. Transformation 의 기본 요소는 두 판과 두 판이 서로 맞닿을 edges, 그리고 두 판의 Surface Normal Vector 가 이루는 각이다. Transformation 의 기본 논리는 그림 3·9와 같다. 각판의 edge 의 끝 점을 일치시키도록 이동한 후(그림 3·9의(b)) 두 edge 가 일치하도록 회전시킨다.(그림 3·9의(c)) 그후 두 판의 Surface Normal Vector 가 원하는 값이 되도록 회전시킨다.(그림 3·9의(d))



(그림 3·9) 용접판의 Transformation

4. 로봇 용접 공정 계획에의 응용

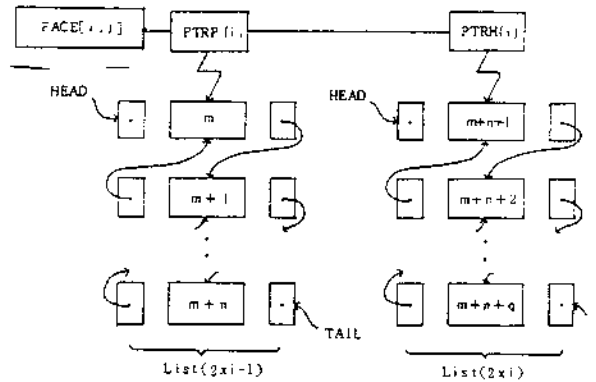
본 장에서는 3장에서 제시한 Conceptual Graphical Modelling 의 실제 Implementation 과정을 보여준다. Modeller 의 Implementation 과정은



〈그림4.1〉 Graphical Simulation System의 구성 및 흐름도

용접 구조물의 입력 단계와 용접선 입력 단계로 나눌 수 있다. 아울러 본 연구에서 제시한 Modeller를 이용하여 로봇트 용접 공정 계획에의 응용 및 적용 사례가 소개된다.

용접 공정 계획에의 응용 과정은 Positioner의 설계에 도움을 줄 수 있는 무게 중심 계산 단계, 로봇트 용접 작업장의 Layout 단계, 로봇트 용접 자동화를 계산 단계로 나뉘어 설명된다. 그림 4·1에서는 본 Modeller의 Implementation과 로봇트 용접 공정 계획에의 응용 과정을 담은 Graphical Simulation System의 구성 및 흐름도를 보여준다.



〈그림 4·2〉 자료구조의 Implementation 예

4.1. Implementation of Graphical Modelling

4.1.1. 용접 구조물의 입력 단계

용접 구조물의 입력은 3·1절에서 설명한 자료 구조에 맞게 이루어진다. ([부록 2] 참조) Surface 정보를 포함하는 Face는 2차원 array로 정의되고, 각 surface에서 edge node를 지시하는 pointer인 PTRP, PTRH는 single array로 잡혀있다. Edge 정보를 저장하는 EDGE는 2차원 array로 잡혀있다.

그림 4·2는 i 번째 surface와 관련된 정보들이 어떻게 연결되어 있는지를 보여 준다. $PTRP(i)$ 는 i 번째 surface의 periphery edge list를 나타내며 $PTRH(i)$ 는 i 번째 surface의 hole edge list를 나타낸다.

4.1.2. 용접선 입력 단계

용접선에 관한 정보의 입력도 (3·2)절에서 설

〈표 4·1〉 용접선에 관한 입력 정보

변 수 명	내	용
FACE 1	용접선이 존재하는 하나의 surface number	
FACE 2	용접선이 존재하는 또 다른 surface number	
SIGN 1 ²⁾	FACE1의 surface normal에 대해 용접선이 위치하는 방향	
SIGN 2 ²⁾	FACE2의 surface normal에 대해 용접선이 위치하는 방향	
EDGE 1	FACE 1의 edge 중 용접선을 이루는 edge number	
EDGE 2	FACE 2의 edge 중 용접선을 이루는 edge number	
TYPE	용접 Joint 형태	

2) SIGN은 방향에 따라 -1, 0, 1의 값을 갖는다.

명한 용접선 자료 구조에 맞게 이루어진다. 표 4·1에 용접선을 정의하는데 필요한 정보가 나타나 있다.

4.2. 로봇트 용접 공정 계획에의 응용

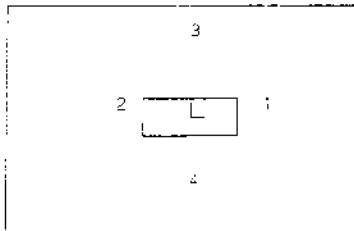
4.2.1. 무게 중심 계산

용접 구조물의 무게 중심은 positioner의 rotation, tilt 축을 정하는데 도움을 줄 수 있는 요소이다. 무게 중심을 구하기 위한 물체의 기본형은 삼각형, 직사각형 그리고 부채꼴이다. 이러한 기본형들의 합 혹은 차로 보다 복잡한 형을 갖는 관들의 무게 중심을 구할 수 있다. 평판의 경우에는 기본형들의 조합으로 구할 수 있고, cylinder면인 경우는 cylinder 단면만을 이루는 circle segment의

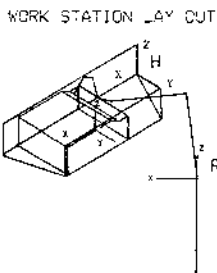
무게 중심을 이동하여 얻을 수 있다. 타원 edge 를 포함한 경우에는 직사각형으로 나누어서 계산한다.

4.2.2. 용접 작업장 배치

용접 구조물의 무게 중심을 계산하고 Positioner 의 축의 중심을 구하면 로봇과 작업물 사이의 Layout 을 정할 수 있다. 이 때는 Graphic Terminal 을 통해서 Interactive 하게 로봇과 작업물의 위치 관계를 설정할 수도 있고, 다음 절에서 소개 될 용접을 계산 과정을 포함시켜, 로봇과 작업물 간의 각 위치마다의 용접율을 계산한 뒤, 최대 용접율을 나타내는 곳에 로봇을 위치시키고, 이를 Interactive 하게 수정하는 방법을 사용할 수도 있다. 그림 4.7, 그림 4.8, 그림 4.9에서는 D회사의 중장비 부품인 Tank 용접 구조물의 용접 공정 계획을 위한 Interactive Layout 과정을 보여 주고 있

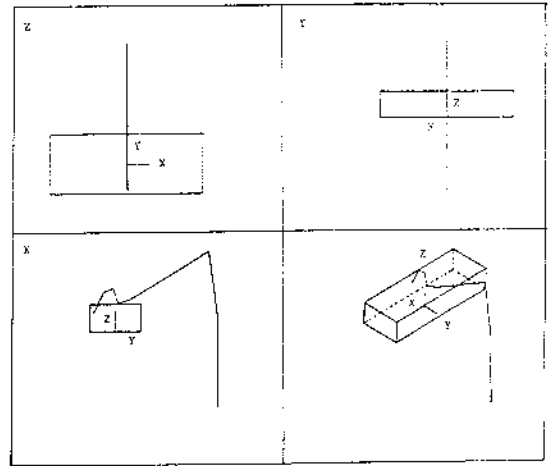


〈그림 4.7〉 로봇과 용접구조물의 초기위치 설정단계



〈그림 4.9〉 Tank 용접공정의 작업장 배치도

다. 그림 4.7 과 그림 4.8 의 box 는 용접 구조물과 positioner 를 함께 포함하여 작업장 배치를 용이 하게 하는데 사용되는 가상적인 작업 대상 물체이다. 로봇팔은 직선으로 표시되어 있고, 그림 4.7 의 1,2,3,4 는 로봇이 위치할 가상적인 지점이다.



〈그림 4.8〉 여러 각도에서 바라본 로봇과 용접 구조물의 관계

4.2.3. 로봇 용접율의 계산

용접 구조물의 용접선의 총 길이에 대한 로봇 용접 가능 부분의 길이의 비율을 구하는 것으로써, 이는 로봇에 의한 용접 자동화율 측정의 척도가 된다. 용접율 계산을 위해서는 다음과 같은 절차의 조사가 필요하다.

1) 경사도 조사

경사도 조사는 용접 부위 bead 의 흐름에 대한 조사를 하는 것으로써 용접선이 수평면과 이루는 각을 알아 본다.

2) Weaving 조사

관절형 5축 로봇의 경우, Wrist 부분의 β 축 (Weaving 축)을 사용하여 weaving 용접을 수행할 수 있는데 원칙적으로 용접선과 weaving 축 방향이 평행해야하나, 어느 정도의 weaving allowance angle을 허용하고 있다. [1]

3) Workspace 조사

용접선이 로봇 arm의 reach 안에 포함되는가를 알아 보는 것으로, 보통 로봇 arm의 최대 도달 거리와 최소 도달 거리로써 조사한다.

4) Inverse 조사

용접 작업장에서 기준 좌표계에 대한 로봇과 작업물의 좌표계가 정의되면, 주어진 용접 부위에서 로봇 arm의 T_6 (혹은 T_5) Matrix를 구할 수 있고, 이로 부터 로봇 Joint Space에서의 Robot Inverse Solution의 존재 유무를 확인할 수 있게 된다. [7]

5) 간섭 현상 조사

로봇과 용접 구조물의 Collision 여부를 조사하는 것으로써, 구조물의 표면을 이루는 판들과 로봇 arm의 거리를 비교함으로써 알아낼 수 있다.

[1]

이상의 조사들은 4·2·3절에서 언급한 Tank 부품에 적용시켜 로봇 용접율을 구한 예가 표 4·2에 나타나 있다.

〈표 4·2〉 로봇 용접율 측정 예

용접선 수 axis weaving type (d.o.f.)	7			12	
	5	6	6*)	5	6
β axis	21.41	28.66	72.15	15.99	30.94
All axes	25.17	47.18	77.9	19.12	53.95

*) Robot Sliding Base가 있는 경우

용접선 수가 7개인 경우와 12개인 경우로 2가지로 나뉘어 있으며, 로봇 arm의 자유도에 의한 경우에 분리도 나타나 있다. 로봇이 주행을 하면서 용접할 수 있도록 Sliding Base가 로봇 Base Plate에 붙어있는 경우도 포함되었다. 5축과 6

축 로봇의 경우, Arm의 Link Parameter가 서로 다르고, 작업장 배치시에 로봇의 위치 설정이 서로 다른 점등의 조건의 차이가 있기는 하지만, 전체적으로 6축 로봇이 더 높은 용접율을 보여주고 있으며 또한 Sliding Base가 부착된 로봇이 더 높은 용접율을 기록하고 있다. Weaving 방식에 의한 차이도 뚜렷한 바 로봇 Arm 전축을 사용하는 것이 wrist의 β 축을 사용하는 것보다 높은 용접율을 나타낸다.

5. 결 론

로봇 도입 계획시 효과적인 분석 도구로 유용하게 사용할 수 있는 것 중의 하나로 Computer Graphic Simulation 기법을 들 수 있다. 본 연구에서는 로봇 용접 공정 계획에 도움을 줄 수 있는 근간이 되는, 용접 구조물의 표현을 위한 Graphical Modelling System을 확립하고자 했다.

본 Graphic Simulation Modeller는 Reference Plane 개념을 이용한 Boundary Representation 방식을 택하고 있다. 본 Modeller는 기존의 Solid Modeller들보다 입·출력 과정이 쉽게 처리되며, 복잡한 3차원 형상의 용접 구조물 및 용접선에 관한 정보를 쉽게 표현하고 저장할 수 있는 자료 구조를 갖고 있다. 하지만 입력 형태가 다소 복잡하고 Hidden Line Removal이 되지 않아 물체의 형상이 착각을 일으킬 수 있다는 계약을 갖고 있다. 본 Modeller의 용접 공정 계획에의 응용은 용접 구조물의 무게 중심을 계산, 작업장 배치, 자동 용접율의 계산 단계까지 이루어져 있으며, 이들은 로봇 설계시 Product Planning에도 도움을 줄 수 있다.

현재는 Arc 용접 분야에만 응용하였지만 Spot 용접은 물론 Material Handling, Assembly 공정에 까지 연장 적용하여야 할 것이며, 로봇 작업 Cycle Time 계산, Job Sequencing 및 off-line Programming을 이용한 작업계획에의 응용 분야로까지 지속적인 연구가 계속되어야 할 것이다.

본 Graphic Simulation Modeller는 VAX/VMS를 사용하고 Fortran 77으로 implement 되었고, Tektronix 4114 Graphic Terminal에

서 display 가 가능하다. Array Size 는 기존의 력 구조물의 정보크기에 따라 조절 가능하다. Solid Modeller 보다 훨씬 적은 30 K정도이며 입

References

1. J.Y. Chung, "Robot Welding Process Planning Using Graphic Simulation", M.S. Thesis, KAIST, 1984.
2. Tech Tran. Co., *Industrial Robots: a summary and forecast*, 2nd ed., Tech Tran. Co., 1983.
3. 조선선재주식회사, 반자동용접강좌
4. W.B. Heginbotham, "Robot Application Simulation", *Industrial Robot*, June pp. 76-80, 1979.
5. R.N. Stauffer, "Robot System Simulation", *Robotics Today*, June, pp. 81-90, 1984.
6. K. Jacobsen, "Design of Complicated Assemblies of Welded Plates", *CAD Systems Framework*, (F.M. Lillehagen ed.), North Holland publishing Co. 1982.
7. R.P. Paul, *Robot Manipulator: Mathematics, Programming and Control*, The MIT Press, 1981.
8. Byoung K. Choi, "CAD/CAM compatible, Tool-oriented Process Planning for machining centers", Ph.d. - Thesis, Purdue Univ. 1982.

[부록 1]

- 용접판의 Transformation 을 위한 입력정보
 - ① MFACE : 새로이 입력된 surface number
 - ② BFACE : 새로이 입력된 surface 가 붙을 surface number
 - ③ MEDGE : MFACE 의 edge 중 BFACE 와 붙는 edge number
 - ④ BEDGE : BFACE 의 edge 중 MFACE 와 붙는 edge number
 - ⑤ SIGN : MFACE 가 붙는 BFACE 의 surface normal 에 대한 방향(cylinder 일 경우는 cylinder 의 중심과 circle Edge 를 잇는 vector 를 normal 로 생각한다.)
 - ⑥ ANGLE : BFACE 와 MFACE 의 surface normal 이 이루는 각(cylinder 일 경우는 edge 의 Axis vector 와 이루는 각)
 - ⑦ TYPE : BFACE 와 MFACE 가 이루는 형태(용접 Joint 와 일치)
 - ⑧ SEL : BEDGE 와 MEDGE 가 붙는 방향(만약 BEDGE 의 start point 와 MEDGE 의 start point 가 만나면 'S', 그렇지 않으면 'E')

[부록 2]

- Center Frame (D회사 Excavator 부품)의 Graphical Modelling 을 위한 Data Input Procedure
 - * (그림에서 용접 구조물은 점선으로 표시되고, 용접선은 실선으로 나타난다.<그림 5>)

ENTER THICKNESS

16

ENTER RADIUS: IF PLANAR --ENTER 0

0

ENTER PERIPHERY EDGE DATA (그림 1)

8 5 0 0 0 0 725 0 0

8 3 0 725 0 0 725 290 0

8 0 0 725 290 0 675 290 0

8 0 0 675 290 0 555 225 0

8 0 0 555 225 0 170 225 0

8 0 0 170 225 0 50 290 0

8 0 0 50 290 0 0 290 0

8 2 0 0 290 0 0 0 0

0

ENTER HOLE EDGE DATA

0

ENTER TRANF. INFORMATION (그림 2)

6 8 2 14 90 -1

ENTER TRANF. TYPE

T

ENTER EDGE MATCHING INFORMATION

E

IS THE RESULT OK? (그림 2)

NO

IS THE RESULT OK? (그림 3)

OK

(그림 4)

WELDING LINE INPUT

ENTER JOINT TYPE

T

ENTER WELDING INFORMATION (그림 5)

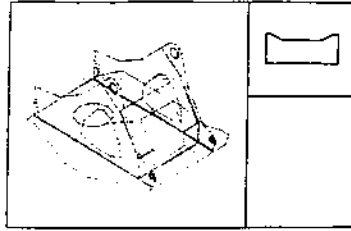
1 1 14 2 1 1

.

.

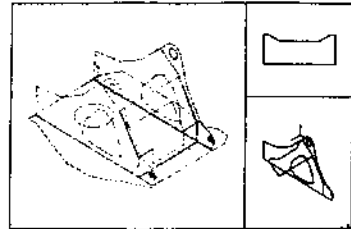
YOUR WELDING INPUT IS FINISHED

YOUR WELDING INPUT IS FINISHED



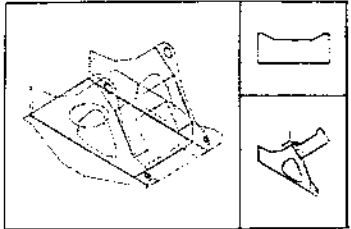
<그림 1>

새로운 surface Data를 입력한다.



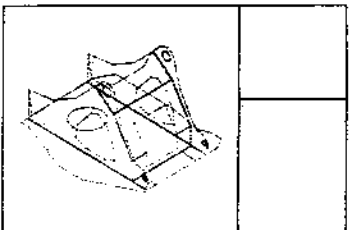
<그림 2>

transformation 정보를 입력한다. 6번 surface의 8번 edge와 2번 surface의 14번 edge가 90°로 normal의 '-' 방향으로 만난다. 만약, 원하는 위치가 아니면 'NO'를 입력한다.



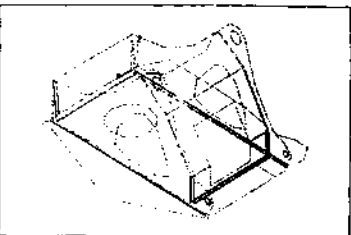
<그림 3>

'NO'이면 transformation edge(6번 surface의 8번 edge)를 중심으로 반대방향으로 Rotation시킨다.



<그림 4>

원하는 위치이면 용접구조물에 새로운 surface가 붙는다.



<그림 5>

1번 surface의 4번 Edge와 2번 surface의 1번 Edge가 T-Joint의 용접선을 형성하는데 그 위치는 각각 surface의 +normal 방향이다.