

박판 용접구조물의 모델링을 위한 공간관계 표현

Representation of Spatial Relationships for Sheet Metal Weld Assemblies Modeling

김 동 원 (전북대학교 기계공학부), 김 경 윤 (전북대학교 대학원)

Abstract

This paper presents spatial relationships and engineering features for the feature based modeling of Sheet Metal Weld Assemblies (SMWA) that are made of sheet metal components through arc welding processes. Spatial relationships in *ProMod-S*, a sheet metal product modeler, are further extended for the SMWA modeling. Some spatial relationships for special weld joint types are newly introduced. The geometrical and topological relations between spatial relationships, mating features, and assembly features are defined. Finally, assembly data structures for the product modeling of SMWA are proposed. They are an engineering relation to represent the constraints between component features, and a mating bond to integrate component design information.

Keywords: SMWA(박판 용접구조물), spatial relationship(공간 관계), feature(특징형상), assembly feature (조립 특징형상), mating feature(결합 특징형상), engineering relation(공학적 관계)

1. 서론

용접판의 기본 부품은 평판(flat plate)과 곡판(bent plate)으로 구성된다. SMWA(Sheet Metal Weld Assemblies)는 이들 용접판이 특정 이음매 형상을 이루며 결합되는 바, 이러한 특정 이음매(joint) 형상은 특징형상(feature)으로 정의 될 수 있다[Kim 94a]. 특징형상의 포괄적인 정의에 따르면, 물체의 결합 형상 및 조건도(assembly shape and condition)도 한 분류로 취급될 수 있기 때문이다 [Shah 90]. 따라서 이러한 용접구조물의 특징형상은 자동적으로 용접선의 정보를 추론할 수 있게 해주며, 이에 따른 부수적 정보를 공정계획 및 로봇 작업계획에 전달할 수 있도록 한다.

용접구조물의 각 이음매 정보는 암시적으로 각 이음매가 결합되는 공간관계(spatial relationship)를 보여 준다. 공간관계란 결합요소간의 결합조건을 의미하며, 이는 결합요소간의 자유도에 대한 제약을 통해서 얻어질 수 있다[Liu 91]. 한편, 결합 요소간의 공간관계의 부여는, 역으로 공간관계를 통한 각 이음매의 정의를 가능하게 한다. 그러므로 용접구조

물의 모델링에 있어서, 공간관계의 명확한 정의 및 표현은 특징형상 기반 모델링을 위해 반드시 수행되어야 할 선결 조건이다.

본 연구에서는 박판용접구조물(SMWA)의 모델링을 개발하는데 있어서, 반드시 필요한 이음매와 그 루브의 형상을 분류하고, 이를 표현하기 위한 공간관계(spatial relationships)와 SMWA의 조립체 표현 및 조립 검증을 위한 특징형상기반의 조립체 표현 구조를 제시한다. 한편, 본 연구의 결과는 미국 University of Pittsburgh에서 개발한 박판 제품 모델러인 *ProMod-S*[Liu 95]와 통합되도록 한다.

2. 박판 용접구조물의 조립 특징형상

박판 부품의 특징형상은 일반적으로 구멍(hole)을 갖는 *passage*와 굽힘이나 성형을 갖는 *nonpassage*의 두 종류로 구분되어 나타내질 수 있다[Nnaji 91]. 일반적인 박판 가공의 공정설계는 이러한 작업을 기초로 한 프레스 가공에 관한 내용을 취급한다. 반면에 본 연구에서는 절단이나 프레스 성형 공정을 거친 부품을 이용하여, 용접 작업을 통해 3차원 조립

체로 변환되는 박판 용접 구조물을 대상으로 하고, 이들 부품이 결합될 때의 조립 특징형상을 정의한다.

용접(weld)은 두 개의 부품과 관련되는 조립 특징형상(assembly feature)으로 특징지어진다. 이 조립 특징형상은 해당 부품의 기하학적 요소와 이음매, 그리고 그루브의 특성으로 표현이 가능하다. 이 이음매 특성은 용접되는 각 부품이 결합되는 공간관계를 암시하며, 그루브 특성은 V-그루브를 위한 모따기(Chamfering)와 같이 각 부품의 사전처리 작업을 지정한다. Kim[Kim 94b]은 아크용접에 사용되는 *Butt*, *Tee*, *Lap*, *Cylindrical Tee* 등의 이음매와 그루브 형상을 분류하였다. 조립 모델링 단계에서, 이들 이음매는 공간관계가 부여되므로써 결정된다.

박판 용접구조물(SMWA)은 기존의 용접 이음매와 그루브 형상으로 충분히 표현할 수 없는 *Cylinders*형이나 *Flange*형의 이음매가 사용되고 있다(그림 1). 따라서 그루브의 형상과 박판 구조물의 이음매가 재정의 되어야 한다.

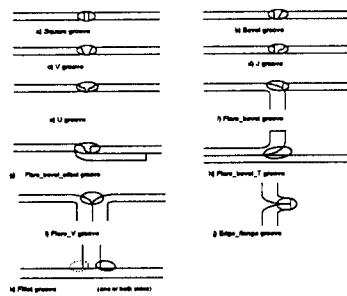


그림 1. Groove shapes in SMWA

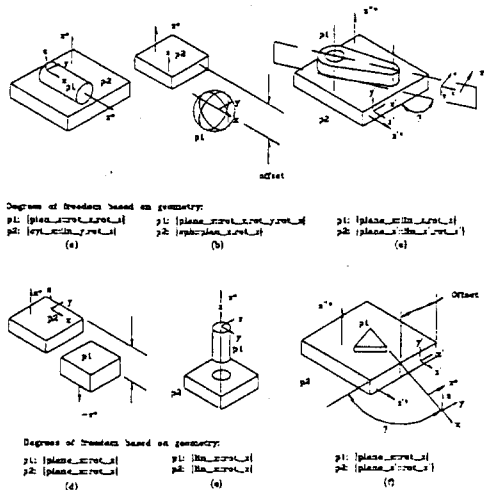


그림 2. Six spatial relationships in ProMod-S

3. 박판 용접구조물의 공간관계

특징형상 기반 설계에서는 각 특징형상간의 상대적인 공간관계를 명시하는 작업이 매우 중요하다. 각 특징형상들은 서로 일정한 공간관계를 가지며, 이를 통해 어떤 부품의 조립특성을 나타낸다.

Liu와 Nnaji[Liu 91]는 1975년 Popplestone [Poppl 87]이 제시한 공간관계(spatial relationship)를 수정, 확장하여 조립 작업에 적용하였다. 그들은 설계자의 의도를 파악할 뿐만 아니라 조립 위치를 추론하기 위해, 공간관계를 이용한 제품디자인 방식을 제시하였다. 그림 2와 같이 6가지의 공간관계가 제시되었으며, 그들이 개발한, 특징형상 기반 박판제품 모델러(*ProMod-S*)에서도 역시 이러한 공간관계가 이용되고 있다.

표 1. Six spatial relationship and mating entities

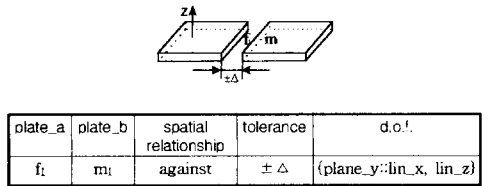
Spatial Relationship	Mating Entities	Remark
against	face::face face::cylindrical surface face::spherical surface face::edge::face::edge	ex) flange_edge flange_bevel
parallel-Offset	face::face face::cylindrical surface face::spherical surface	
parax-Offset	face::face face::cylindrical surface face::spherical surface	
aligned	center line::center line face::edge::face::edge	ex) Cylindrical_butt Cylindrical_Tee I Cylindrical_Tee II ex) Tee, Lap, Corner Cylindrical_butt Cylindrical_Tee II
incline-Offset	face::face face::cylindrical surface face::spherical surface	
incline-Angle	face::face face::cylindrical surface face::spherical surface	

표 2. New spatial relationships for SMWA

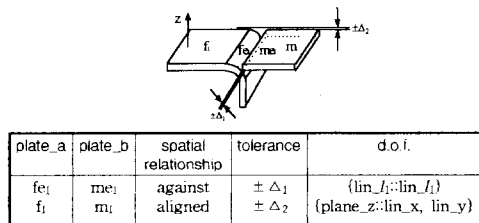
Cross	center line::center line	cross_T cross_I
Projection	cylindrical surface::axle surface	projection_T projection_I

그런데 이들이 제시한 *against*의 경우, 면과 면 사이의 관계는 정의할 수 있지만, 한 면에 속한 모서리와, 다른 면에 속한 모서리 사이에서의 공간관계 등은 표현할 수 없다. 따라서 그림 3의 *Flange*형과 *Cylinder*형의 이음매를 표현하기는 매우 곤란하다. 이에 모서리와 모서리간의 관계를 표현하기 위

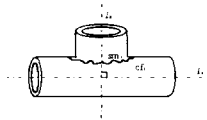
해, *against*의 정의에 대한 수정이 필요하다. *against*의 새로운 정의(표 1)를 이용하면, *flange_bevel*의 경우, *plate_a*의 edge f_1 과 *plate_b*의 edge m_1 사이에 *against*의 공간관계를 부여할 수 있다. *flange_edge*도 이와 유사하게 *against*의 공간관계를 부여할 수 있다. 표 2는 SMWA의 이음매 표현을 위해 새롭게 추가된 공간관계이다. 이에 그림 3과 같이, 확장된 공간관계를 이용하여 *cylinder*형의 이음매를 표현할 수 있다. *cylinder*형의 이음매인 *cylinders_T*와 *cylinders_I*는 *cross*와 *projection* 같은 새로운 공간관계를 통해 표현된다.



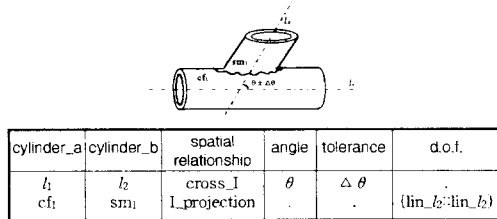
a) Butt



b) Flange_bevel



c) Cylinders T



d) Cylinders I

그림 3. Examples of spatial relationships

4. 특징형상 기반의 조립체 모델링

특징형상 기반 조립 모델링 시스템은 제품에 대한 단순한 조립의 기능뿐만 아니라 조립요소들간의 결합과 기능적 관계에 정보를 제공할 수 있다. 단일 부품을 위한 특징형상 기반 모델러에서, 특징형상은 단일 부품에 대한 디자이너의 설계의도를 반영한다. 반면에 조립 모델러는 최종제품의 기하학적 모델을 기준으로 조립을 위해 필요한 특징형상을 추출하거나 정의한다. 따라서 조립 모델링 시에는 디자인 단계에서 정의된 부품의 특징형상 정보와 조립 특징형상 간의 결합 관계가 명확히 제시되어야 한다.

조립 모델링을 수행하는 조립엔진은 그림 4에서와 같이 세 단계로 나누어 질 수 있다. 이는 부품들의 공간관계를 규명하는 공간관계의 표현(spatial relationship specification)단계, 조립 특징형상들을 생성하는 조립 특징형상 형성(assembly feature formation)단계, 그리고 부품 특징형상의 결합요소간의 관계를 규명하는 결합관계 생성(mating relation construction)단계로 나눌 수 있다.

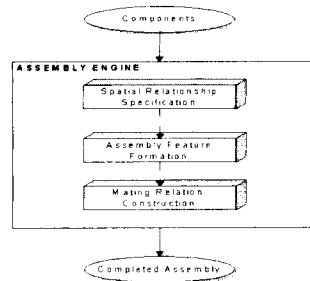


그림 4. Three phases of a weld assembly engine

일반적으로 특징형상은 부품이나 제품의 기능, 제조 방법, 검사나 조립 방법 등의 특성에 따라 달리 정의 할 수 있다. 다시 말해 특징형상은 디자인 단계에서 사용자의 의도에 따라 특정 요소가 부여되어 정의됨을 말한다. 조립 모델링을 위해서, 조립 작업을 위한 결합 특징형상(mating feature)과 조립 특징형상(assembly feature)의 정의와 추출이 필요하다.

본 연구에서 결합 특징형상(mating feature)은 “전체 조립체에 있어 결합관계에 따라 부품을 상대적으로 위치시키기 위해 필요한 기하학적 요소”로 정의된다. 예를 들어, 그림 3에서 볼 수 있듯이, *cylinders-T*에서 각 실린더의 중심선 l_1 과 l_2 가 상호 수직으로 교차하는 공간관계(*cross-T*)를 갖고 있다

면, 각 실린더의 l_1 과 l_2 가 결합 특징형상(mating feature)으로 정의되는 것이다. 그리고 각 실린더의 결합특징형상과 이들 사이의 공간관계($cross-T$)는 하나의 조립 특징형상을 생성하게 된다. 또한, 이들 실린더의 접촉 모서리인 $sm1$ 과 $ef1$ (이들도 결합 특징형상에 해당됨) 에서도 하나의 공간관계(T -projection)가 형성되므로 $Cylinders -T$ 의 경우, 두 개의 조립 특징형상이 생성될 수 있는 것이다. 마찬가지로 다른 용접 이음매에서도 여러 가지의 결합 특징형상과 조립 특징형상이 생성될 수 있다. 표 3은 SMWA의 각 이음매 형상에 따른 공간관계와 각 결합 요소들을 보여 준다.

표 3. Assembly features and their mating entities in SMWA

	Sub-joint Type	S/R	Mating Entities
Butt	Butt	against	plate(face)::plate(face)
	Butt_backing	against	plate(face)::plate(face)::plate(face)
Tee	Tee_fillet	against	plate(face)::plate(face), plate(face_edge)::plate(face_edge)
	Tee_flange	against	flanged part(face)::plate(face)
		aligned	flanged part(face_edge)::plate(face_edge)
Lap	Lap_flat	against	plate(face)::plate(face), plate(face_edge)::plate(face_edge)
	Lap_offset	against	flanged plate(face)::plate(face)
		aligned	flanged plate(face_edge)::plate(face_edge)
Corner	Corner_square	against	plate(face)::plate(face), plate(face_edge)::plate(face_edge)
	Corner_open	aligned	plate(face)::plate(face)
	Corner_backing	against	plate(face)::plate(face)
		aligned	plate(face)::plate(face)
Cylinder	Cylindrical_butt	against	cylinder(face_edge)::cylinder(face_edge)
		aligned	cylinder(screw_face)::cylinder(screw_face)
		aligned	cylinder(center_line)::cylinder(center_line)
	Cylindrical_Tee I	against	cylinder(face)::plate(face)
		aligned	cylinder(center_line)::plate(center_line)
	Cylindrical_Tee II	against	cylindrical part(face_edge)::plate(face_edge)
		aligned	cylindrical part(center_line)::plate(center_line)
Cylindrical_cross	cross	cylinder(center_line)::cylinder(center_line)	
Flange	Cylindrical_projection	projection	cylinder(cylindrical_surface)::cylinder(axle_surface)
Flange	Flange_projection	against	flanged part(face)::flanged part(face)
	Flange_flare	aligned	flanged part(face_edge)::flanged part(face_edge)
	Flange_edge	against	flanged part(face_edge)::flanged part(face_edge)
		against	flanged part(face_edge)::plate(face)
Flange_bevel	against	flanged part(face)::plate(face)	

한편, *ProMod-S*에서는, 조립 특징형상의 정의를 “상호간의 결합 관계와 결합 특징형상간의 공간관계 집합을 포함하며, 공간관계의 제약을 통한 자유도와 기타 제약을 갖는 형상 특징형상들의 집합[Liu 95]” 이라고 하고 있으나, 이 정의에서도 알 수 있듯이, 결합 특징형상과 공간관계는 조립 특징형상 형성을 위해 필수적으로 필요하다.

그림 5는 조립 특징형상의 예를 보여준다. plate a와 plate b는 *corner_square*의 조립 특징형상을 가지며, 각 결합 특징형상과 자유도를 갖는다.

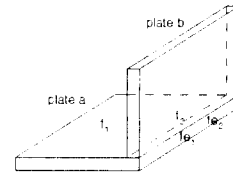


	plate a		plate b	
mating features	f1 (planar face)	fe1 (face edge)	f2 (planar face)	fe2 (face edge)
spatial relationships	against	aligned	against	aligned
D.O.F.	(fix::rot::z)			
implied constraints				

그림 5. An assembly feature example

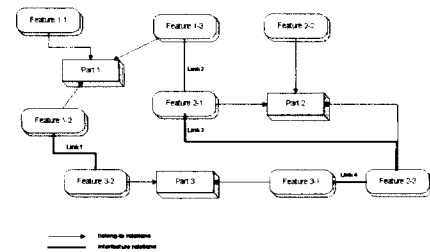


그림 6. Engineering relations among part features

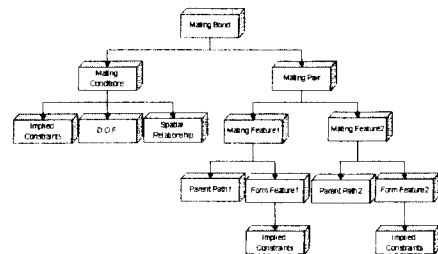


그림 7. Mating bonds

앞에서 언급한 것과 같이, 이음매들간의 공간관계 규명을 통해 생성된 조립 특징형상을 기준으로, 부품간의 제약조건을 표시하는 공학적 관계를 생성할 수 있다. 그림 6은 제품 모델링에 있어서 공학적 관계의 개념을 개략적으로 보여준다. 세 개의 부품들은 여러 가지 조립 특징형상으로 이루어졌으며 일부 특징형상들은 서로 결합관계에 있다. 각 특징형상과 부품들간의 화살표는 이 특징형상이 부품에 포함(belong-to relations)되었음을 의미하며, 굵은 선들은 각 특징형상들이 서로 연결(interfeature relations)되어 있음을 의미한다.

한편, 조립 특징형상은 부품간의 결합 관계에 대한 정보를 포함하여야 한다. 본 연구에서는 결합 특징형상들의 결합 관계를 나타내기 위해, 결합 본드(mating bond)를 이용한다. 결합 본드의 구조는 그림 7과 같다. 하나의 결합 본드는 크게 결합쌍과 결합 조건으로 나누어진다. 결합쌍은 결합되는 결합 특징형상의 정보를 갖고, 각 결합 특징형상은 상위 결합 경로와 형상 특징형상(form feature)의 정보를 포함한다. 결합 관계는 공간관계의 종류와 그에 따른 자유도 등의 정보를 포함한다.

5. 결론

용접 구조물의 특징형상 기반 모델링은 CAD/CAM 통합을 이용한 용접 자동화에의 필수적인 사전 작업이다. 본 연구에서는 SMWA의 특징형상 기반 모델링을 위한 선결조건인 공간관계의 정의 및 표현방법을 제시하였다. 또한 SMWA 조립 모델링을 위한 결합 특징형상, 그리고 조립 특징형상과 조립체 표현을 위한 자료구조등을 제시하였다.

참고 문헌

- [Bucha 89] Buchal, R.O. Cherchas, D.B., and Duncan, J.P., "Simulated Off-Line Programming of Welding Robots," *The International Jr. Robotic Research*, Vol. 8, No. 3, 1989.
- [Kim 94a] Kim, D.W., *A Feature-Based Process Planning System for Robotic Arc Welding*, Hokkaido University, 1994.
- [Kim 94b] Kim, D.W., Takeshi, K., Kang, Y.J., and Katsumasa, S., "A Feature Based Modeling of A Welding Plate Construction," *Jr. of Material Processing Technology*, Elsevier Publishing Co., 1994.
- [Liu 91] Liu, H.S., and Nnaji, B.O., "Design with Spatial Relationships," *Jr. of Manufacturing Systems*, Vol. 10, No. 6, 1991.
- [Liu 95] Liu, H.S., and Nnaji, B.O., "Assembly Driven Design Advisor of ProMod," *Proceedings of RI/SME Fifth World Conference on Robotics Research*, September 1994, MIT, SME, 1995.
- [Nnaji 91] Nnaji, B.O., Kang, T., Yeh, S. and Chen, J., "Feature Reasoning for Sheet Metal Components," *International Jr. of Production Research*, Vol. 29, No. 9, 1991.
- [Poppl 87] Popplestone, R.J., The Edinburgh designer system as a framework for robotics, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3, 1987.
- [Shah 90] Shah, J.J., "Assesment of Feature Technology," *Computer-Aided Design*, Vol. 23, No.5, June 1990.