

5축 레이저 절단기를 이용한 파이프 정밀 절단용 CAM 시스템 개발 CAM System for Pipe Cutting using Five-Axis Laser Cutting Machine

이흥주, *#강재관

H. J. Lee, *#J. K. Kang(jkkang@kyungnam.ac.kr)
경남대학교 기계자동화공학부

Key words : Pipe Cutting, 5-Axis CNC Laser Cutting, Post-Processor, Tool-Path Generation

1. 서론

곡면 금속 판재 제품은 프레스로 성형 후 가스 절단이나 플라즈마 절단을 이용하여 트리밍이나 3차원 절단 작업을 수행한다. 그러나 이러한 방법은 최종 절단 제품의 정밀도가 떨어지고 가스 절단이나 플라즈마 절단시 제품에 열 변형이 발생할 수 있으며 시간이 많이 요구되는 문제점이 있기 때문에 최근 들어 금속 판재를 다양한 형태로 정밀 절단할 수 있는 5축 레이저 절단기가 크게 주목을 받고 있다.

본 연구에서는 Fig.1 과 같이 산업체 현장에서의 수요가 높은 3차원 파이프 형상의 정밀절단을 위하여 5축 레이저 절단기에 적용할 수 있는 방법을 제시한다. 특히 5축 레이저 절단기의 다양한 컨피규레이션 중 Nutating 헤드 타입의 머신을 대상으로 파이프의 3차원 정밀 절단을 지원할 수 있는 전용 CAD/CAM 시스템 개발을 목표로 형상 정의, 절단곡선 및 절단 경로 생성, 그리고 NC 코드 산출을 위한 포스트 프로세서 개발 방법 등을 다룬다.



Fig. 1 Pipe cutting examples in fields

2. 실린더 형상의 수학적 모델링

파이프는 수학적으로 실린더(cylinder) 형상이다. 두개의 실린더가 Fig. 2 와 같이 각도 ϕ 로 서로 교차한다고 가정한다.

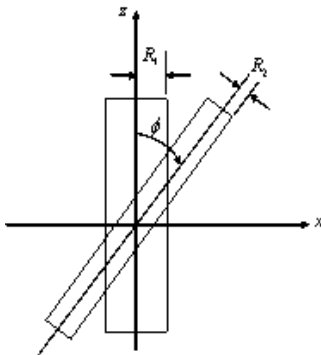


Fig. 2 Parameter definition of pipe intersection

첫번째 실린더 방정식은 다음과 같이 정의할 수 있으며,

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 \cos \theta_1 \\ R_2 \sin \theta_2 \\ z_1 \end{pmatrix}$$

두번째 실린더의 매개변수 방정식은 상기의 식에 ϕ 만큼의

회전 변환을 적용시켜 구할 수 있다.

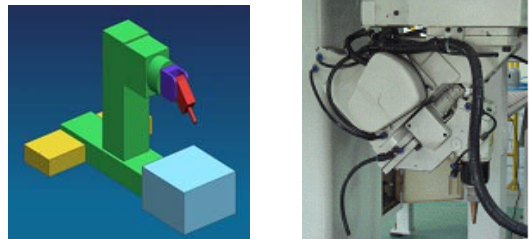
$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_2 \cos \theta_2 \cos \phi - z_2 \sin \phi \\ R_2 \sin \theta_2 \\ R_2 \cos \theta_2 \sin \phi - z_2 \cos \phi \end{pmatrix}$$

3. 파이프 절단용 CAM 시스템

3.1 5축 머신 컨피규레이션의 종류

5축 장비는 Rotary table 의 위치와 Swivel Table 의 위치에 따라서 기계 타입이 결정되며 대형 공작물 가공에 유용한 스핀들 틸팅 타입, 중형 공작물 타입에 적합한 스핀들-테이블 틸팅 타입, 그리고 소형 공작물 타입에 적합하고 절삭성과 가공속도가 좋은 테이블 틸팅 타입 등 크게 3가지 형태로 분류된다[1].

스핀들 틸팅 타입 중에서 Fig.3(b)와 같이 두 회전축이 직교하지 않고 x 축과 45 도를 이루는 타입을 Nutating 헤드 형이라 한다. 이 타입의 특징은 두 회전축이 어떻게 회전하여도 공구의 끝단이 항상 한 점을 지향하는 특징을 가진다.



(a) Spindle tilting type (b) Nutating head type

Fig. 3 5-axis Machine configuration

3.2 CAM 시스템의 기본 구성

파이프 절단용 CAM 시스템을 개발하기 위해서는 파이프상의 절단선을 따라 먼저 CL-Data 를 생성시키는 것이 필요하다. Fig. 4 은 앞서 설명한 파이프 교선 정의를 이용하여 파이프 절단에 필요한 절단 곡선을 설정한 뒤 레이저 절단 헤드 접근에 필요한 법선 벡터가 산출된 모습을 보여 주고 있다. 두 파이프 형상의 직경과 교차 각도를 입력하면 절단 곡선과 절단 점에서의 법선 벡터에 의하여 레이저 헤드가 위치해야 할 공구 경로(CL Data)가 생성된다.

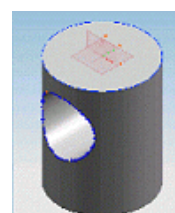


Fig. 4 Cutting tool path

3.3 포스트프로세서 개발

포스트 프로세서란 CL-Data 를 NC 기계가 읽고 동작할 수 있는 데이터 포맷으로 변환해 주는 과정을 말한다. 포스트 프로세싱을 하기 위해서는 먼저 머신의 컨피규레이션의 타입에 따라 절단헤드의 끝점에 해당하는 CL-Data 에 대하여 각 축의 운동량을 계산하는 과정이 필요하다. 이는 해당 5 축 머신에 대한 역기구학(Inverse kinematics) 문제를 해결하는 것과 동일하다.

5 축 머신의 포스트 프로세서 개발을 위한 기존 연구 [3,4]를 이용하면 5 축 레이저 커팅 머신에 대한 포스트 프로세서도 동일한 방법을 적용할 수 있다. 단 본 연구는 기존의 연구에서 다루지 않은 Nutating 헤드 타입이기 때문에 워터젯 가공기에 적용하였던 기존의 연구[5]를 이용한다.

CL 데이터로부터 초기 공구벡터 t , 절단점의 법선벡터를 b , 그리고 법선벡터와 z 축과의 각도를 θ 라 하면 B 축과 C 축의 회전량 β, γ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\beta = \cos^{-1}(2\cos\theta - 1)$$

그리고 γ 는 b 에서 t 까지의 각도가 된다.

$$\gamma = \text{angle}(b, t, z)$$

3.4 절단 모션 시뮬레이터 개발

앞서 제시한 포스트 프로세서를 위한 역기구학 식을 이용하면 절단 시뮬레이터의 개발이 가능하다. 3 차원 그래픽 절단 시뮬레이터는 절단 헤드의 동작을 컴퓨터 상에서 확인하므로써 실제 절단시 발생할 수 있는 오류를 최소화할 수 있다.

절단 시뮬레이터의 구현은 3 차원 CAD 인 UG NX3 가 제공하는 모션 시뮬레이터 기능을 이용하였다. 즉 5 축 레이저 절단기를 구성하는 각 축을 링크와 조인트로 표현한 후 구속조건을 부여하고 앞서 계산된 α, β 값을 차례로 입력하여 CAD 상에서 동작을 확인할 수 있도록 하였다(Fig.5).

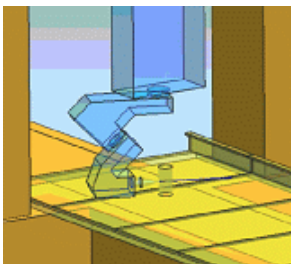


Fig. 5 3D graphic motion simulator

4. 절단 실험

본 연구 결과의 검증은 위하여 개발된 내용을 Nutating 헤드 타입의 5 축 레이저 절단기에 적용하였다. 사용된 기계는 일본 NTC 사의 Nutation 타입 레이저 머신을 레이저 임가공하는 중소기업에서 PA 컨트롤러로 리트로피팅(retrofitting)한 머신이다. 회전 C 축의 운동범위는 $\pm 180^\circ$ 이고 회전 B 축의 운동 범위는 $0^\circ \sim -180^\circ$ 이다. Fig. 6 에 절단된 파이프의 최종 제품이 나타나 있다.



(a) Laser cutting



(b) laser cut pipes

Fig. 6 Laser cutting examples

5. 결론

본 연구에서는 파이프 형상의 3 차원 정밀 절단을 위하여 5 축 레이저 절단기를 사용하기 위한 전용 CAM 시스템을 개발하기 위한 방법론을 제시하였다. 절단 공구 경로를 추출하기 위하여 매개 변수식을 이용한 실린더 형상의 정 및 실린더 형상간의 교선 계산 방법을 유도하였다. 그리고 산업체 현장에서 많이 사용되고 있는 Nutation 타입의 레이저 절단기의 포스트 프로세서 개발을 위한 역기구학 문제를 다루었다. 또한 개발된 방법을 실제 기계에 적용하기 전 5 축 기계의 절단 동작을 분석하기 위한 3 차원 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 방법은 5 축 레이저 절단기에 적용, 실제 실험을 수행하여 그 유효성을 보였다. 본 연구는 향후 복잡한 형상의 절단 시 발생하는 절단 헤드와 공작물 간의 충돌 문제를 해결할 수 있는 모듈을 보완하는 것이 요구된다.

참고문헌

1. 황중대, 정윤교, 정중윤, " 5 축 가공용 Post-Processor 개발에 관한 연구", 한국정밀공학회 2005 년도 춘계 학술대회논문집, pp.370~374, 2005
2. R. S. Lee, C. H. She, "Developing a Post processor for Three Types of Five-Axis Machine Tools", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp.658~665,1997
3. 김영일, 김덕수, 전차수, "터빈 발전기의 Steam Path 전용 CAD/CAM 시스템", 제 10 권, 제 4 호, pp.254-261, 2005