

## 6축 CNC 파이프 코스터 전용 CAM 프로그램 구현

노태정<sup>1\*</sup>, 이욱진<sup>1</sup>

<sup>1</sup>동명대학교 메카트로닉스공학과

### Implementation of CAM Program for 6-Axis CNC Pipe Coaster

Tae-Jung Lho<sup>1\*</sup> and Wook-Jin Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechatronics Engineering, Tongmyong University

**요약** 모관과 지관의 다양한 접합형상에 대하여 접합궤적을 수학적으로 유도하였다. 이 접합궤적에 용접부의 루트갭 및 절단폭 등을 보정하여 실제적으로 절단궤적을 결정하여 NC 코드를 생성하고 그 경로를 확인하기 위하여 ghost 기능을 구현하였다. 칩회전인 C축의 8개 구간별로 A, B축의 Tilting을 사용하여 개선 기능을 구현하였으며, 이는 절단궤적을 따라서 절단하면서 동시에 개선이 가능하도록 6축 CNC 파이프 코스터 전용 CAM 프로그램을 개발하였다.

**Abstract** Joint paths are induced mathematically for many kinds of joint pattern between master- and sub-pipes. By compensating them with root gap of welds and kerf width, real cutting paths are determined. Their NC codes are generated, and the paths generated by NC code are verified by a ghost function. A beveling is implemented through tilting a torch in the A- and B-axis direction for 8 sections in the chuck rotation of C-axis. The effective CAM program was developed specially for 6-axis CNC pipe coasters which cut a master or sub- pipe along the cutting path and simultaneously fulfill a beveling process.

**Key Words** : Pipe Coaster, Joint Pattern, Master-Pipe, Sub-Pipe, Cutting Path, Beveling, CAM, Kerf Width, NC-code, Ghost

## 1. 서론

최근 과학기술의 발전함에 따라 다양한 형태의 자동화가 우리의 일상생활, 산업현장 등에 광범위하게 이루어지고 있다. 특히 최근에 조선, 자동차, 해양플랜트, 구조물 등의 산업에는 호재가 되어 국내의 경제발전에 크게 기여하고 있다. 상기의 산업은 파이프를 많이 사용하게 되는데 각 산업의 특성상 평판과 파이프의 접합, 파이프와 파이프의 접합 등의 다양한 패턴의 절단형상이 필연적으로 요구된다.

파이프의 접합형상은 일반 평판과는 다르게 곡면에 대한 접합이 이루어지므로 접합형상이 평판에 비해 복잡한 형상으로 전개된다. 이러한 형상은 주로 작업자가 요구하는 형상이 전개된 백상지를 작업하고자 하는 파이프에

석필로 절단형상과 길이를 표시하고, 작업자가 표시된 절단선을 따라서 수동으로 절단하여 용접하고 있다.

이러한 수작업 방식은 숙련된 작업자가 필요하고, 불량품 생산이 가능하고, 비정형화된 작업형태로 인한 작업자의 작업 기피 등이 발생한다. 또한 파이프를 절단한 후에 후가공인 용접을 용이하게 하기 위하여 용접부의 개선(beveling)을 수행하는데, 주로 사용하는 플라즈마절단이나 산소절단은 절단시 파이프의 절단면에 표면경화가 발생하여 후가공인 개선작업을 수행하는데 상당한 애로사항이 발생하게 된다. 그리고 가공된 파이프는 플랜트, 구조물 등 복잡하게 조립되는 가공물에 사용되는데 불량품이 가공물에 조립될 경우 그 가공물은 강도나 성능의 신뢰성을 확보하기 힘들다고 할 수 있다.

상기의 문제를 해결하기 위하여 최근 개선작의 최적화

본 논문은 교과부/지정부의 산학협력중심대학육성사업(HUNIC) 및 지정부의 지역산업기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

\*교신저자 : 노태정(tjlho@tu.ac.kr)

접수일 09년 08월 07일

수정일 09년 09월 07일

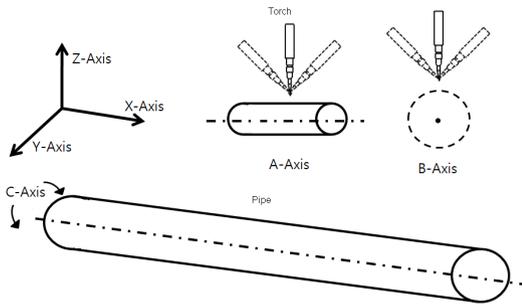
게재확정일 09년 09월 16일

에 관한 연구[1-2] 플라즈마 절단면에 관한 연구[3], 트러스 구조물체의 파이프코스터(pipe coaster) 적용[4], 파이프 접합형상에 대한 절단궤적을 따라 가공할 수 있는 파이프 절단기 및 CAM 프로그램 개발[5-6], 임의형상 가공 시스템을 위한 레이저 5축 경사절단기 및 궤적생성 알고리즘의 개발[8] 등 다양한 연구가 이루어지고 있었으나, 궤적 절단과 동시에 용접부 개선을 할 수 있도록 해결하지는 못한 실정이다.

이에 대하여 본 연구에서는 다양한 파이프 접합형상에 대한 절단궤적을 따라서 절단하면서 용접부 개선이 동시에 가능한 X, Y, Z, A, B, C축으로 구성되는 6축 CNC 파이프 코스터를 제어할 수 있는 CAM 프로그램을 개발하여 적용하였다.

## 2. 모관-지관의 접합궤적 모델링

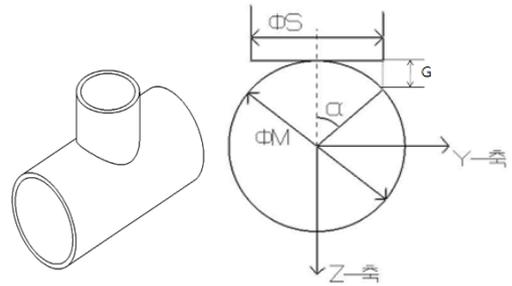
산업현장에서 주로 사용되는 모관(master-pipe)-지관(sub-pipe)의 접합형상(joint pattern)들을 선정하여 각각의 형상에 대한 수학적인 모델링을 통하여 모관과 지관의 접합궤적을 구현하였다.



[그림 1] 기계부의 이동축 구성

그림1에서 보는바와 같이 기계부의 이동축은 총 6개의 축으로서 구성되며, 파이프를 잡고 있는 척(chuck)의 회전 C축, 파이프의 길이방향 이동 X축, 파이프의 폭방향 이동 Y축, 파이프의 상하방향 이동 Z축, 그리고 용접부 개선을 가공하기 위한 토치의 X축 방향으로의 Tilting인 A축과 토치의 Y축 방향의 Tilting인 B축으로 구성된다.

수직교차접합은 그림 2와 같이 모관과 지관이 수직으로 교차하여 만나는 형상으로 일반 평판과는 다르게 Z축 방향으로 파이프가 들어가는 것을 확인할 수 있다.



[그림 2] 모관과 지관의 수직교차접합

그림 2와 같은 형태의 접합궤적을 유도하기 위하여 정사영법을 통하여 각 궤적의 X, Y, Z축의 좌표 값을 구현하였다. 수직교차접합에서 모관의 접합궤적은 모관의 수직하방으로 볼 때 XY 평면에서 절단토치가  $\theta$  방향으로 1회전하는 동안 X, Y, Z축이 식(1)의 궤적을 따라서 이동하면서 형성된다.

$$X = \frac{\phi_S}{2} \cos \theta, Y = \frac{\phi_S}{2} \sin \theta$$

$$Z = \frac{\phi_M}{2} \left\{ \frac{\phi_M}{2} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_S}{2} \sin \theta}{\frac{\phi_M}{2}} \right) \right) \right\} \quad (1)$$

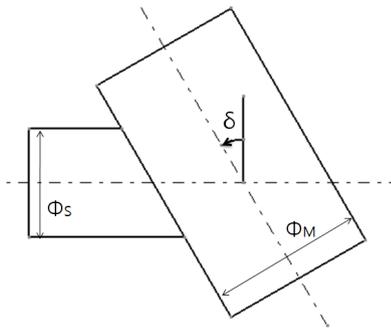
여기서  $\phi_M$ ,  $\phi_S$ ,  $\theta$ 는 각각 모관의 외경, 지관의 외경 및 모관의 XY평면에서의 회전각도이다.

수직교차접합에서 지관의 접합궤적은 모관과 맞닿는 부분이므로 척인 C축이 1회전하는 동안 X축이 식(2)의 궤적을 따라서 이동하면서 형성된다.

$$X = - \left[ \frac{\phi_M}{2} \left\{ \frac{\phi_M}{2} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_S}{2} \sin \alpha}{\frac{\phi_M}{2}} \right) \right) \right\} \right] \quad (2)$$

여기서  $\alpha$ 는 지관을 회전하는 척(chuck)의 회전각도이다.

사선교차접합은 모관과 지관이 경사지게 접합되는 형태로서, 그림 3과 같이 접합경사각  $\delta$ 에 의해 모관과 지관의 접합궤적이 결정된다.



[그림 3] 모관-지관의 사선교차접합

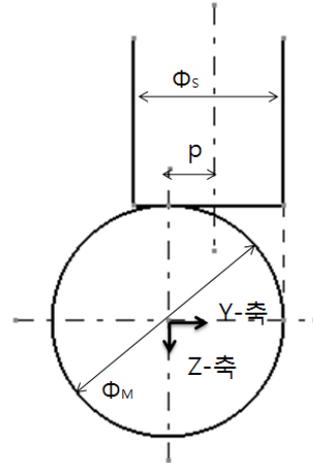
사선교차접합에서 모관의 접합궤적의 X축은 cosine 궤적을 나타내며, 모관의 접합궤적은 식(3)으로 결정될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 X &= \left( \frac{\phi_S}{2} \cos \theta \right) \pm \left| \frac{\phi_S}{2} \tan \left( 45^\circ - \frac{\delta}{2} \right) \cos \theta \right| \\
 Y &= \frac{\phi_S}{2} \sin \theta \\
 Z &= \frac{\phi_M}{2} - \left\{ \frac{\phi_M}{2} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_S}{2} \sin \theta}{\frac{\phi_M}{2}} \right) \right) \right\}
 \end{aligned} \quad (3)$$

사선교차접합에서 지관의 접합궤적은 회전축인 C축이 0° ~ 360°로 1회전할 때 궤적의 변화는 X축에만 존재한다. 사선교차접합에서도 수직교차접합과 마찬가지로 모관의 Z축이 지관의 X축이 되어 궤적에 변화를 준다.

$$\begin{aligned}
 X &= - \left[ \frac{\phi_M}{2} - \left\{ \frac{\phi_M}{2} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_S}{2} \sin \alpha}{\frac{\phi_M}{2}} \right) \right) \right\} \right] \\
 &\quad \pm \left\{ \frac{\phi_S}{2} \tan \left( 45^\circ - \frac{\delta}{2} \right) \cos \alpha \right\}
 \end{aligned} \quad (4)$$

그림 4와 같이 모관과 지관의 중심축이 편심된 경우에는 모관 및 지관의 접합궤적에 영향을 미치게 된다.



[그림 4] 편심된 모관-지관의 수직교차접합

편심 수직교차접합에서 지관은 XY 평면에서 원형을 유지하고 있어 모관의 X축 접합궤적은 수직교차접합의 경우와 같지만, 중심이 Y축 방향으로 편심량 p만큼 이동하여 모관의 Y, Z축 접합궤적은 식(1)로부터 식(5)를 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\phi_S}{2} \cos \theta \\
 Y &= \left( \frac{\phi_S}{2} \sin \theta \right) \pm p \\
 Z &= \frac{\phi_M}{2} - \left\{ \frac{\phi_M}{2} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{\left( \frac{\phi_S}{2} \sin \theta \right) \pm p}{\frac{\phi_M}{2}} \right) \right) \right\}
 \end{aligned} \quad (5)$$

편심 수직교차접합에서 지관의 접합궤적은 수직교차접합의 지관 궤적과 같은 방법으로 회전축인 C축이 0° ~ 360°로 1회전할 때 X축의 접합궤적은 식(2)로부터 식(6)을 유도할 수 있다.

$$X = - \left[ \frac{\phi_M}{2} - \left\{ \frac{\phi_M}{2} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_S}{2} \sin \alpha \pm p}{\frac{\phi_M}{2}} \right) \right) \right\} \right] \quad (6)$$

편심 사선교차접합에서 모관의 접합궤적에서 편심은 X축 궤적에는 영향을 주지 않고, Y축, Z축의 궤적에 영향을 주므로, 식(3)으로부터 식(7)을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 X &= \left( \frac{\phi_S}{2} \cos \theta \right) \pm \left| \frac{\phi_S}{2} \tan \left( 45^\circ - \frac{\delta}{2} \right) \cos \theta \right| \\
 Y &= \left( \frac{\phi_S}{2} \sin \theta \right) \pm p \\
 Z &= \frac{\phi_M}{2} - \left\{ \frac{\phi_M}{2} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{\left( \frac{\phi_S}{2} \sin \theta \right) \pm p}{\frac{\phi_M}{2}} \right) \right) \right\}
 \end{aligned} \tag{7}$$

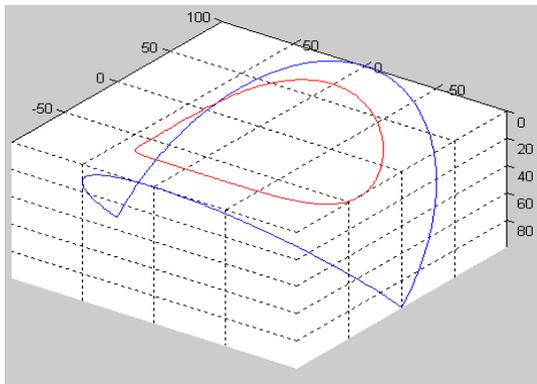
편심 사선교차접합에서 지관의 X축 궤적은 모관의 Z축의 궤적에 해당되므로 회전축인 C축이 0° ~ 360°로 1회전하는 동안 지관의 X축이 식(8)과 같이 이동하면서 접합궤적을 형성한다.

$$\begin{aligned}
 X &= - \left[ \frac{\phi_M}{2} - \left\{ \frac{\phi_M}{2} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_S}{2} \sin \alpha}{\frac{\phi_M}{2}} \right) \right) \right\} \right] \\
 &\pm \left\{ \frac{\phi_S}{2} \tan \left( 45^\circ - \frac{\delta}{2} \right) \cos \alpha \right\}
 \end{aligned} \tag{8}$$

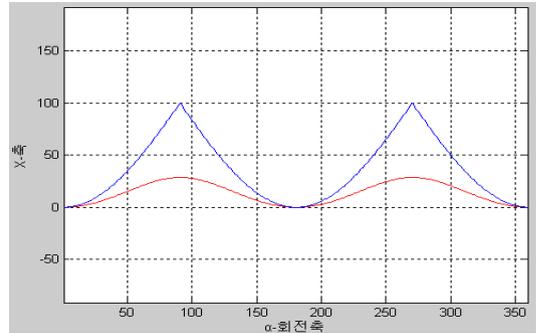
### 3. Matlab을 이용한 접합궤적 시뮬레이션

상기에서 구현된 다양한 접합형태의 접합궤적 수식에 대하여 실제로 구현되는지 여부를 확인하기 위하여 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

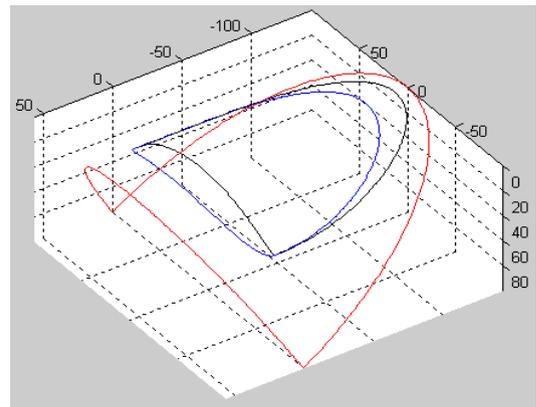
그림 5 및 그림 6은 수직교차접합에서 각각 모관과 지관의 접합궤적에 대한 시뮬레이션 결과로서, 빨간선은 모관 외경 200mm, 지관 외경 140mm일 경우이며, 파란선은 모관과 지관의 외경이 같은 200mm 경우의 궤적이다.



[그림 5] 수직교차절단-모관 접합궤적 시뮬레이션

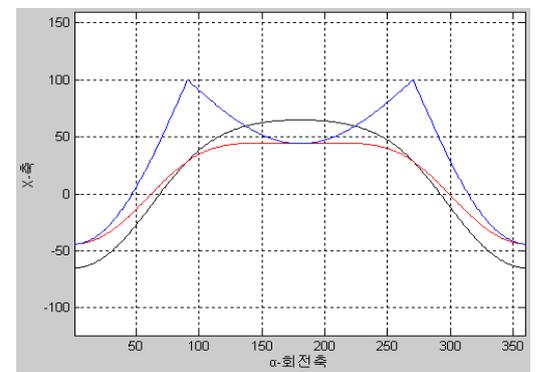


[그림 6] 수직교차절단-지관 접합궤적 시뮬레이션



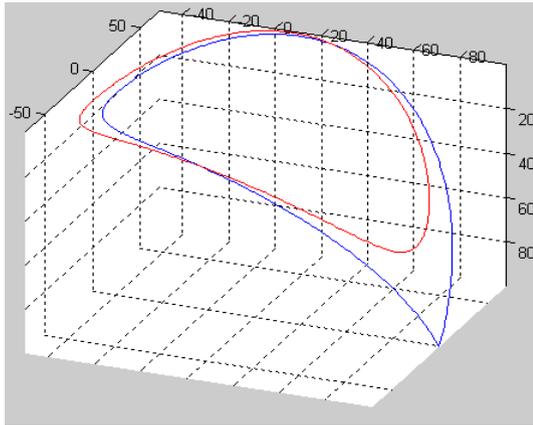
[그림 7] 사선교차접합-모관 접합궤적 시뮬레이션

그림 7 및 그림8은 사선교차접합에서 각각 모관과 지관의 접합궤적에 대한 시뮬레이션 결과로서, 빨간선은 모관 외경 200mm, 지관 외경 200mm, 접합경사각 45°의 경우이고, 파란선은 모관 외경 200mm, 지관 외경 140mm, 접합경사각 45°의 경우이며, 검은색은 모관 외경 200mm, 지관 외경 140mm, 접합경사각 60°의 경우의 궤적이다.

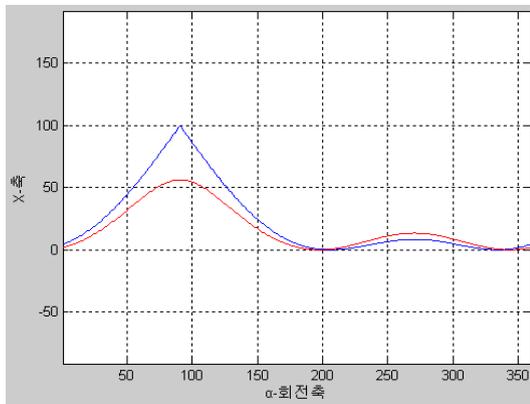


[그림 8] 사선교차접합-지관 접합궤적 시뮬레이션

그림 9 및 그림 10은 편심 수직교차접합에서 각각 모관과 지관의 접합궤적에 대한 시뮬레이션 결과로서, 빨간선은 모관 외경 200mm, 지관 외경 140mm, 편심 20mm로 하였을 때의 궤적이고, 파란선은 모관 외경 200mm, 지관 외경 140mm일 때 편심의 최대값인 30mm로 설정한 경우의 궤적이다.



[그림 9] 편심수직교차접합(모관) 궤적 시뮬레이션

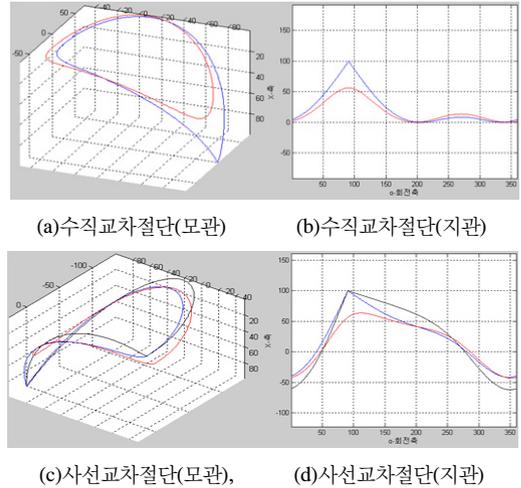


[그림 10] 편심수직교차접합(모관) 궤적 시뮬레이션

그림 11(a), (b)는 편심 사선교차접합의 경우 각각 모관과 지관의 접합궤적에 대한 시뮬레이션 결과로서, 빨간선은 모관 외경 200mm, 지관 외경 140mm, 편심 20mm, 접합각도 45°일때의 궤적이고, 검은선은 모관 외경 200mm, 지관 외경 140mm, 편심은 최대값인 30mm, 접합각도는 45° 일 때의 궤적이다.

그림 11(c), (d)는 편심 사선교차접합에서 각각 모관과 지관의 접합궤적에 대한 시뮬레이션 결과로서, 빨간선은 모관 외경 200mm, 지관 외경 140mm, 편심 20mm, 접합각도 45°일때의 궤적이고, 검은선은 모관 외경 200mm,

지관 외경 140mm, 편심은 최대값인 30mm, 접합각도는 45° 일 때의 궤적이다.



[그림 11] 편심이 적용된 수직에 대한 시뮬레이션

상기의 다양한 접합형상에서 구현된 모관과 지관의 접합궤적에 대하여 *Matlab*을 통한 시뮬레이션을 한 결과, 실제로 접합경로와 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. CAM Program 개발 및 Test

각종 접합형상에서 모관의 실제적인 절단궤적은 모관의 접합궤적에 용접부의 루트갭( $R_g$ ) 및 절단폭(kerf width)  $W_c$ 를 고려하여 지관의 외경을 아래와 같이 보정해야한다[7].

$$\Phi_S \leftarrow \Phi_S + R_g - W_c/2 \tag{9}$$

또한 지관의 실제적인 절단궤적은 지관의 접합궤적에 절단폭을 고려하여 지관의 X축 좌표를 아래와 같이 보정해야한다

$$X \leftarrow X + W_c/2 \tag{10}$$

각종 모관-지관의 접합형상에 대한 절단궤적을 따라서 실제 기구부를 구동하기 위한 NC 코드를 생성하고, 생성된 NC 코드를 기반으로 하여 절단경로를 확인할 수 있는 ghost 기능 등을 수행할 수 있는 PC기반의 CAM 프로그램을 개발하였으며, 그림12는 개발한 CAM 프로그램의

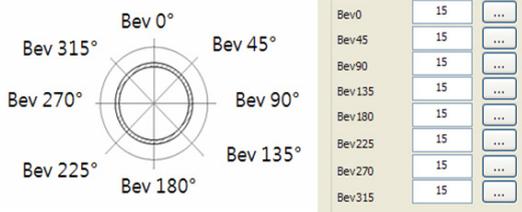
메인화면이다.



[그림 12] CAM 프로그램의 메인화면

모관-지관의 접합형상을 선택하고 실제 가공되는 모관과 지관의 외경, 두께, 접합각도, 편심 등을 입력하면 상기에서 구현한 절단궤적을 통하여 NC 코드를 생성하여 모관과 지관을 자동으로 가공할 수 있도록 하였다.

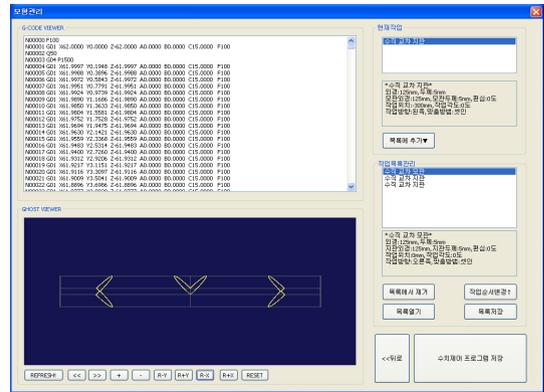
마지막 공정인 용접을 위하여는 절단시에 절단궤적을 따라서 개선각을 동시에 절단하여야 효율적이다. 따라서 그림 13와 같이 총 8개 구간으로 나누어진 개선각 입력창에 작업자가 요구하는 개선각을 입력하면 파이프에 개선각을 가공할 수 있다.



[그림 13] 파이프의 위치에 따른 개선각 입력창

이 외에도 가공물이 완전히 가공되지 않는 것을 고려하여 실제 1회전 가공 후에 가공경로를 따라 더 가공을 진행하는 오버컷(over cut)기능, 플라즈마 토치가 최초 점화와 피어싱(piercing)을 할 경우 발생하는 토치 점화를 파이프의 버리는 부분에서 시작할 수 있도록 하는 진입선 설정 등의 보정 파라미터를 입력할 수 있다.

모관과 지관의 외경이 같은 125mm인 수직교차접합의 경우 모관의 절단궤적에 대하여 생성된 NC Code List는 그림 14와 같으며, 또한 ghost 기능을 통하여 작업자가 절단경로와 일치하는지 확인할 수 있다.



[그림 14] 절단궤적의 NC코드 생성과 ghost 확인

상기와 같이 생성된 NC코드는 원하는 폴더에 \*.nc 형태로 저장할 수 있고 자주 사용하는 작업의 경우는 파라미터를 세팅할 필요 없이 저장한 폴더로부터 다시 불러와 작업을 할 수 있도록 하였다.

상기의 생성된 NC Code를 로딩하여 개발한 CNC 기계로 실제로 가공한 모관과 지관의 절단 형상은 그림 15와 같으며, 이는 용접부의 루트갭과 절단폭을 보정하여 모관 및 지관의 절단궤적을 따라서 절단하면서 개선이 동시에 가공되었음을 확인할 수 있다.



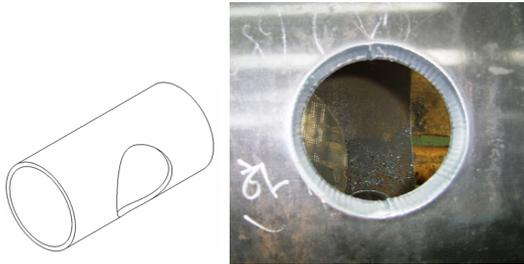
(a) 모관의 절단 외관



(a) 지관의 절단 외관

[그림 15] 수직교차접합에서 모관, 지관의 가공형상

그리고 모관의 원형절단의 경우에 같은 방식으로 생성된 NC Code를 로딩하여 실제로 가공한 모관의 원형절단 형상은 그림 16과 같으며, 이는 용접부의 루트갭과 절단 폭을 보정하여 원형으로 절단하면서 개선이 동시에 가공되었음을 확인할 수 있다.



[그림 16] 모관의 원형절단 가공형상

## 5. 결론

모관과 지관의 다양한 접합형상에 대하여 모관과 지관의 절단궤적을 따라서 절단하고 동시에 개선 작업을 자동으로 수행할 수 있는 6축 CNC 파이프 코스터 전용 CAM 프로그램을 개발하였으며, 그 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 다양한 접합형상에 대하여 모관과 지관의 접합궤적을 수학적으로 유도하였고, 이에 대해 *Matlab*으로 모관과 지관의 접합궤적을 시뮬레이션 결과 접합궤적이 타당함을 확인 할 수 있었다.
2. 모관과 지관의 접합궤적에 용접부의 루트갭 및 절단폭 등을 보정하여 실제적으로 모관과 지관의 절단궤적을 결정하고, 이를 가공하기 위하여 NC 코드를 생성하고 그 NC 코드의 경로를 확인하기 위하여 *ghost* 기능을 수행하는 CAM 프로그램을 개발하였다.
3. 최종공정인 용접을 위하여 용접부의 개선이 필요하므로 척 회전축인 C축의 8개 구간별로 A, B축의 Tilting을 사용하여 개선 작업을 구현하였으며, 이는 절단궤적을 따라서 절단하면서 동시에 개선 작업을 할 수 있었다.
4. 생성된 NC코드를 PCNC에 로딩하여 실제로 가공한 결과 지관과 모관의 절단궤적 및 용접부 개선에 대한 품질이 만족하였다.

## 6. 참고문헌

- [1] 조경호, “Pipe Coaster용 Beveling Data의 자동생성 및 시뮬레이션 프로그램 개발”, 첨단기술연구소 논문집, 제12권2호, pp.107-111, 2001.
- [2] 이해우, 김세환, “AI 5083 Butt 용접시 개선각에 관한연구”, 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 제1권, pp.222-225, 1994.1.
- [3] 김인철, 김성일, “고장력 강관의 CNC Plasma 절단시 절단면에 관한 연구”, 한국공작기계학회 2003 춘계학술대회논문집, pp.149-154, 4월, 2003.
- [4] 윤태호, “파이프 코스터를 이용한 파이프 트러스 자동 제작시스템 개발”, 산학협력연구보고서, 한국과학재단, 2002.
- [5] 이육진, 김화일, 이준우, 임근호, 노태정, “지관용 파이프 절단기에서 개선을 고려한 절단궤적에 관한 연구”, Proc. of KSME 2009 Spring Conference, pp.270~271, 2009.5.8.
- [6] 이육진, 김화일, 박순중, 유창훈, 노태정 “접합형상 인식 자동 파이프절단기 개발”, Proc. of KSPE 2009 Spring Conference, pp.855~856, 2009.6.4.
- [7] T.J. Lho, D.J. Kang, A.S. Oh, J.W. Kwon, S.T. Bae, K.H. Lee, "An Implementation of the Vectorizing-Based Automation Nesting Software *NST*", LNCS 3981, pp.309-318, 2006.
- [8] 주영철, 엄태준, 이창훈, 공용해, 천인국, 김승우, 방재철, “임의형상가공시스템을 위한 레이저 5축 경사절단기 및 궤적생성 알고리즘의 개발”, 한국산학기술학회논문지, Vol.4, No.1, pp.1-6, 2003.

노태정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과(공학학사)
- 1986년 2월 : KAIST 생산공학과(공학석사)
- 1992년 8월 : KAIST 정밀기계공학과(공학박사)
- 1986년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1999년 3월 - 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 부교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 제어 및 자동화, CNC & CAM 등

이 욱 진(Wook-Jin Lee)

[준회원]



- 2008년 2월: 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 석사과정

<관심분야>

Mechatronics, 디지털제어, 구조해석, Robotics, CNC & CAM 등