

## 다축 드릴 가공기의 NC 코드 검증 Verification of NC code for Multi-Axis Drilling machines

이희관(전북대 공업기술연구소), 오병한(현대자동차 상용차연구소),  
양균의(전북대 기계공학과)

Hi Kuan Lee, Byung Han Oh, Gyun Eui Yang

### Abstract :

The most important things to the tube she of the heat exchanger are the precision of t hole position and the quality of the drill face. Nowadays, 6 and 12 spindle multi-drilling machine controlled by CNC ar used to drill holes of the tube sheet.

The drilling of 12 axes can offer high spe over three times as fast as the drilling of axis. However, the drilling of 12 axes h difficulty in controlling many motors to d spindles and assigning a corresponded numbe accurately to each axis. In the past, conventional method to inspect the code the drilling was machining holes on a thin plate previously which resulted in the productivity because it required a h production cost by machining and weldin time.

In this thesis, there are two drilling codes different from CNC code. M code is used to control many motors and S code is used to assign a correspondent number for each axis. For increasing the productivity by removing process, this paper is intended to take simulation of the drill machining c including 6 and 12 axis on the persona computer.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구 배경

오늘날 거의 모든 제조업 분야는 국내외 시장에서의 경쟁으로 인해 다양한 신제품들을 신속하게 소비자들에게 제공하는 일이 더욱 중요해졌다. 최근 우리나라의 현실은 선진 공업국의 기술장벽 및 후발 공업국의 저가격 공세등으로 인하여 제품 경쟁력 강화를 위한 자체 기술력의 확보가 절실히 요청되고 있으며, 기업을 둘러싸고 있는 모든 환경의 급속한 변화와 함께 세분화 되어가고 있는 소비자의 욕구, 제품의 증가, 제품 수명의 단축등으로 인하여 신제품 개발은 더욱 절실한 명제가 되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해서는 제품의 개발기간과 시작기간의 단축을 통한 보다 저렴한 가격의 고품질 제품을 만들 수 있는 새로운 생산기술이 필요하게 되었다.<sup>[1][2]</sup>

CAD/CAM 분야는 편리하고 유용한 CAD/CAM 상품의 개발이 경쟁적으로 이루어지고 있어 하루가 다르게 급속히 발전을 거듭하고 있다. 본 논문에서 다루고자 하는 내용은 발전설비와 난방시설 용도인 열 교환기 tube sheet의 드릴 가공이다. 12축 6축 드릴 가공 및 검증 시스템은 열 교환기 업체에서 활용할 수 있는 전용시스템으로 틈새 제품에 해당되어 거의 연구가 이루어지고 있지 않으며, 특히 가공 코드 검증에서 인력 의존적 방식으로 많은 문제점과 시행착오를 반복하고 있다. Tube sheet는 발전설비와 난방

시설 용도로 규모가 큰 편에 속한다. 현재 국내에서는 환경보호를 위한 소각로 설비를 중심으로 꾸준한 증가 추세에 있다. 따라서 CAD/CAM 시스템을 활용한 드릴작업 검증 프로그램의 지속적인 연구 개발이 선행되어 제품 경쟁력을 높여야 한다.

## 1. 2 연구 내용

발전설비와 난방시설 용도인 열 교환기 tube sheet에서 가장 중요한 것은 열 교환기 튜브가 조립되는 위치인 드릴 가공 부위의 hole 위치 정밀도와 가공면 품질이라 할 수 있다. 지금까지의 검증방식은 오랜 숙련자가 측정기구를 활용하여 manual 방식으로 반복 수행하고 있어 대형 tube Sheet의 경우 한계가 있으며, 고가 제품의 quality 평가와 신뢰도에 부정적 영향을 미치고 있다. 기존의 tube sheet 가공 코드 검증 방식은 가공코드를 얇은 판이나 tube sheet에 1mm 정도의 깊이로 시험가공을 수행하여 검증한 후, 후공정으로 용접을 수행함으로써 공수증대 및 품질 저하의 원인이 되었다.

드릴가공의 경우 밀링과 달리 주로 사용하는 기능인 부 프로그램의 활용빈도가 높다. CNC 밀링의 경우 다축가공기는 매우 특수한 경우에 해당되며, 드릴 가공기는 가공속도 향상을 위해 다축 가공기의 필요성이 증가하고 있으나, 여러개의 모터 제어 필요와 함께 축지정 문제가 어려워 연구가 거의 되고 있지 않다.

CAD/CAM 시스템을 이용한 산업자동화는 산업 전반에 확산되고 있다. 컴퓨터의 주 작업인 검증(simulation)은 시간단축과 정밀도면에서 인정이 되었으며 기존의 방식을 대체하고 있다. 따라서 본 논문에서 소개하는 시스템은 모터 제어와 축지정 문제를 극복하기 위하여 일반 CNC와 달리 M코드(모터구동), S코드(가공 축번호와 가공지령)를 중요 지령어로 다루게 된다.

본 연구에서는 제품 생산시간 단축, 생산 비용 절감 및 정밀도를 향상시키고자 CAD/CAM 시스템을 활용한 다축 드릴링 가공기의 가공코드 검증 프로그램을 개발함으로써 생산성을 높이고자 한다. 다축 드릴가공기는 CNC 가공기보다 4배정

도 빠른 속도로 구멍가공을 수행할 수 있으며, 개발한 시스템은 12축, 6축, 단축 드릴 가공코드를 지원함으로써 가공기에 제한을 받지않아 tube sheet의 정밀가공을 가능하게 한다. 현재 플랜트 업계의 수출증가에 따른 생산속도 향상의 필요성이 있으며, 에너지를 효율에 주로 영향을 미치는 tube sheet의 고품질화를 통해 발전설비의 개선과 환경개선에 기여할 수 있다.

기존의 12축 가공은 그림1과 같은 공정으로 진행되었다. 1단계는 모눈 종이와 비슷한 격자 용지를 이용하여 드릴 가공의 도면을 작성한다. 그다음은 사람이 가공 코드를 도면에 따라 작성한다. 그리고 코드를 검증한 후에 얇은 판에 펀칭을 하거나 1mm 깊이로 tube sheet에 드릴 가공을 한다. 가공한 흔적을 보고 사람이 검증한 후에 가공 코드를 편집하고 가공을 수행한다. 이 검증 과정은 가공물의 크기에 따라 수 일을 소모하기도 한다. 검증하고 수정하는 공정이 가장 많은 시간을 소모한다.

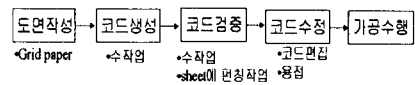


Fig.1 기존공정

기존의 시간 소모적 공정을 개선하기 위해 컴퓨터를 이용한 검증 프로그램을 개발한 공정은 그림2와 같다. 코드 검증과 코드 수정 공정이 개선되었다.

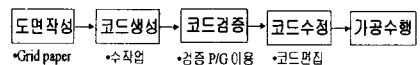


Fig.2 검증 프로그램을 이용한 공정

코드 검증은 검증 프로그램을 이용했고 시험 가공 공정을 제거하였다. 또한 가공 코드 검증에서 1 $\mu$ m까지 위치 오차를 탐색하여 검증의 정도를 높였다. 수 일에 해당하는 시험 가공 공정을 제거하여 가공 시간의 단축과 납기 단축 실현을 하였다

그림 3은 열교환기의 내부 구조를 보여준다. 중간의 판이 tube Sheet이다. 열교환을 위한 파이프가 tube Sheet에 조립이 되므로 tube Sheet에 홀이 가공되는 위치의 정밀도 매우 중요하다. 특히 고압 열교환기의 경우는 조립 정밀도가 더 중요하다. 즉 다축 가공 코드를 검증하는 작업은 기존 공정의 개선과 더불어 조립 공정까지 개선할 수 있는 역할을 할 수 있다.

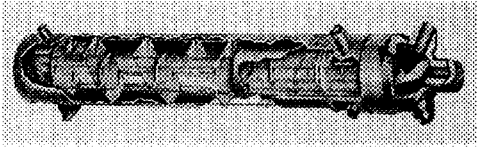


Fig. 3 열교환기의 내부 구조

## 2 다축 드릴 가공기의 가공 코드

다축 드릴 가공기의 코드는 일반 CNC의 코드와 대개 비슷하다. 그러나 S 코드와 M 코드가 다른 역할을 한다. 다축이기 때문에 축을 구동하는 모터가 여러개 필요한데 M 코드는 모터의 구동과 지정된 축을 구동하는 모터의 번호를 지정하며 구동 모터에 따라 가공에 쓰이는 축이 달라진다. S 코드는 회전속도를 지령하는 것이 아니고 축의 번호를 지정하는 것이다. 이 2가지 코드가 일반 CNC와 다른 지령이며 12축 드릴 가공기의 중요 지령어이다.

### 2.1 M 지령

12개의 축은 3개의 모터에 의해 구동되며, 각 모터는 4개의 축을 구동한다. 그림 1은 각 모터가 구동하는 축들을 보여 주고 있다. 모터 1을 구동하려면 M03, 모터 2를 구동하려면 M13, 모터 3을 구동하려면 M23, 모든 모터를 구동하려면 M33의 지령을 사용한다. 축의 번호는 사용 빈도를 기준으로 설정한 것이고 가공에 사용할 축을 결정했으면 그 축을 구동하는 모터를 먼저 지령하고 축의 번호를 지시하면 가공을 수행할 수 있다. Table 1은 다축 드릴 가공에 사용되는 코드

와 코드의 지령 의미를 요약한 것이다.

코드	의미
G	공구의 위치와 이동 지령
M	모터의 구동 subprogram의 호출과 호출 종료
P	호출할 subprogram의 번호
O	subprogram의 번호
S	가공할 축의 번호와 가공 지령
N	프로그램 블록 번호

Table 1 12축 드릴 가공의 코드

그림 4는 3개의 모터가 구동하는 축(spindle)을 보여 준다. 각 모터는 4개의 축을 구동하며 사용되는 축에 따라 구동할 모터가 다르게 지령되어야 한다.

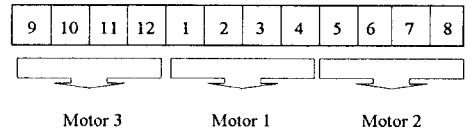


Fig. 4 각 모터가 구동하는 축

### 2.2 S 지령

다축드릴 가공기의 가공 수행 명령 코드는 S코드이다. G01이 가공수행지령인 NC 밀링과는 이점에서 다르다. 가공축을 지령하는 코드는 S이며 S 코드의 번호가 축의 번호를 지시하고 있다.

이 코드는 각 축에 2의 지수  $2^0, 2^1, 2^2, 2^3 \dots 2^{12}$ 의 값으로 지령이 되어있고, 이 수의 합으로 코드가 설정된다. 예를 들면, S4095은 1-12번 드릴축이 모두 사용되었다.

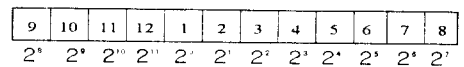


Fig. 5 축과 S 지령

S코드의 번호를 2진수로 표현하여서 1이면 축이 사용되고, 0이면 축이 사용되지 않는 것이다. 그림 5에 축의 번호와 S지령의 관계성을 나타냈다.

$$4095 = 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^8 + 1 \times 2^9 + 1 \times 2^{10} + 1 \times 2^{11}$$

S지령은 사용될 축의 번호의 합으로써 사용될 모든 축을 지정할 수 있다. 사용될 축의 합을 분석하여 사용될 축의 번호와 축을 계산할 수 있고 축의 번호에 축의 피치를 곱하면 축의 위치를 지정할 수 있다. S 코드 값을 이진수로 변환한 후 계수가 1이면 그 축이 사용되는 것을 의미한다. 4095은 각 축의 계수가 모두 1이므로 12축이 모두 사용된 예이다.

9	11	1	3	5	7
---	----	---	---	---	---

Table 1

10	12	2	4	6	8
----	----	---	---	---	---

Table 2

Fig.6 6축 가공기의 구조

그림 6은 6축 가공기의 구조를 보여 준다. 12축 가공기는 2개의 테이블로 구성되었고 각 테이블은 6개의 축(spindle)과 2개의 구동 모터가 장착되어 있다. 6축 가공은 12축에 비해서 정밀도가 뛰어나고 단축에 비해서 가공 속도가 빠르다. 12축 가공기는 금속 가공시 강한 절삭 저항에 의해서 2개의 테이블의 셋업이 틀어질 가능성이 많아서 잦은 셋업 보정이 필요하다. 셋업 보정이 확실하지 않거나 12축 가공보다 높은 정밀도를 요구할 경우 6축 가공을 이용한다. 6축 가공의 축 지정은 12축과 동일하지만 축 간격이 12축 간격의 2배인 점이 다르다.

### 2.3 P와 O 지령

P와 O코드는 부프로그램을 호출할 때 사용한다. M04와 함께 P코드는 subprogram을 호출하고 O 코드는 subprogram을 지정하고 subprogram은 M99로 종료를 한다. 이 P코드의 번호와 O코드의

번호를 정확히 인식해야 가공패턴을 정확히 지령할 수 있다. 예를 들면 M98P44은 O44의 sub-program을 호출하고 O44은 드릴구멍의 패턴 가공을 한다. 부프로그램은 새로운 부프로그램을 호출할 수 있어 복잡한 구조를 지원할 수 있어야 한다. 그래야 프로그램을 효율적으로 작성할 수 있기 때문이다.

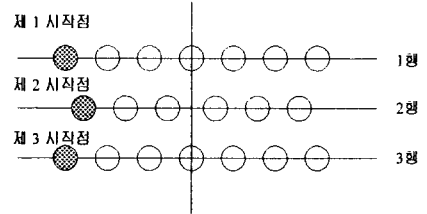


Fig.7 Tube Sheet의 드릴 가공 위치의 배열

그림7에서 각 행은 하나의 부프로그램으로 작성되어 있으며 O 코드에 의해서 헤더(header)가 정의가 된다. 그리고 각 행의 부프로그램은 P 코드에 의해서 주프로그램으로 호출된다.

## 3. 프로그램의 구현 예

### 3.1 시스템의 사양

사용된 시스템은 12축 가공기이면 가공기의 제어부는 독일의 Simens사의 제품이다. 프로그램은 OS가 windows 98이며 VC++로 구현되었다.<sup>[3][4][5]</sup> 프로그램에서 중요한 부분은 NC code에서 부호와 수치를 분류한 후 수치의 문자 데이터를 수치 데이터로 바꾸어 주는 것이다.(그림8)

가공 코드의 구조는 주 가공 코드에서 다 수의 부가공코드를 호출한다. 부가공코드는 또다른 부가공코드를 포함하고 있는 것과 그 자체가 부가공코드인 것이 있다. 그림에서 부가공코드 1은 부가공코드 1\_1을 포함하고 있으며 부가공코드에서 부가공코드 1\_1을 호출하고 주가공코드에서 부가공코드 1을 호출하므로써 가공을 수행한다

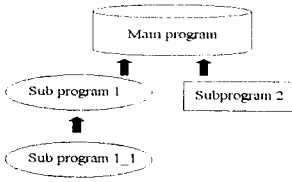


Fig. 8 가공 코드의 구조

그림 9은 검증 프로그램의 인터페이스 구성을 보여준다.

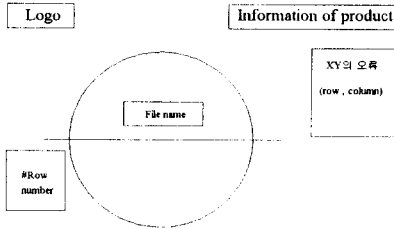


Fig.9 검증 프로그램의 인터페이스

구현된 프로그램의 그래픽 출력에 반영이 되었다. 가장 중요한 부분은 오른쪽 상단의 오류를 표시하는 부분과 홀의 배치를 나타내는 부분이다. 오류 표시 부분은 1 $\mu$ m 이상의 오차가 발생한 홀의 열과 행의 번호를 표시하여 오류 가능성이 있는 가공 코드를 미리 수정할 수 있게 해 준다. 홀 배열의 그래픽 출력은 배열의 이상 유무를 파악할 수 있게 해준다.

그림10은 12축 드릴가공기를 보여주고 있다.

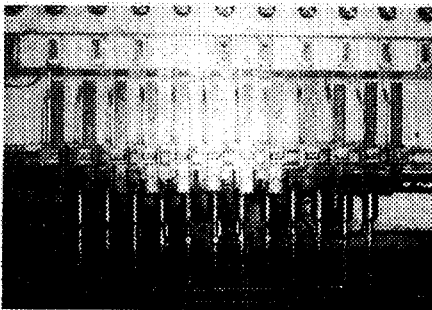


Fig. 10 12축 드릴 가공기

### 3.2 프로그램의 구현

그림11은 검증 프로그램의 인터페이스와 검증 예이다. 이 검증 프로그램의 장점은 각 구멍 가공 위치의 거리를 계산하여 오류가 있는 부분의 위치를 표시해 줌으로써 1/1000mm의 오차도 검증할 수 있다는 것이다. 인터페이스는 배플의 모양과 각 피치의 값 등을 간단하게 키보드 입력하도록 하였다.

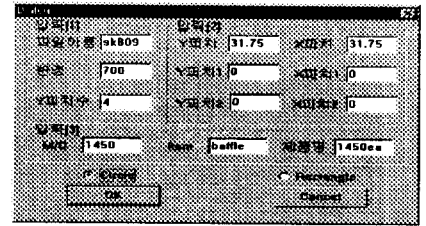


Fig. 11 프로그램의 인터페이스

다이얼로그는 검증 프로그램을 구동하기 위해 필요한 입력 값들을 보여준다. 입력1에서 파일 이름은 가공 코드이고, 반경은 배플이나 튜브 쉬트의 반경이다. Y 피치수는 축 간격이 몇 번의 피치로 이루어졌는가를 나타내는 값이다. 입력 2에서 Y 피치의 값은 Y방향의 홀 간격을 나타내며 한 제품에서 3개까지 피치가 변할 수 있다. X 피치의 값은 X방향의 홀 간격을 말하며 하나의 제품에서 3개까지 변할 수 있다.

입력 3은 검증 프로그램의 그래픽 출력물을 문서로 관리할 때 필요한 사항들을 입력하는 것이다. 그리고 맨 밑에 원과 사각형 선택 버튼은 배플과 Tube Sheet의 외형을 선택할 수 있도록 하였다.

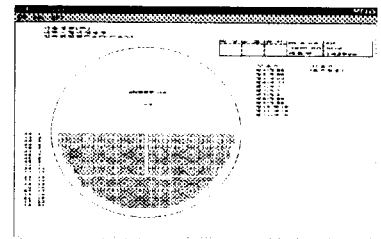


Fig.12 프로그램의 검증 예

프로그램은 각 구멍 가공 위치를 행별로 쉽게 파악할 수 있도록 각 행의 번호와 구멍 가공의 수, 그리고 프로그램 관리를 위한 제품의 명칭등과 오류 발생 부위를 지시해주고 있다.(그림12)

그림13은 가공 코드 검증 프로그램으로 가공 코드를 수정한 후에 가공된 제품이다. 구멍 배열의 정밀도는  $1\mu\text{m}$ 이하이며 재질은 열전도도가 높은 합금이다. Tube Sheet의 반경은 3500mm으로 대형 제품이다.

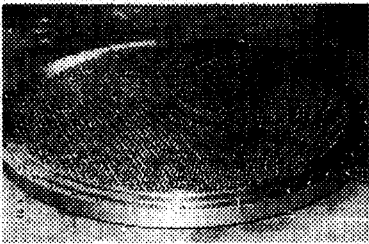


Fig. 13 가공된 Tube Sheet

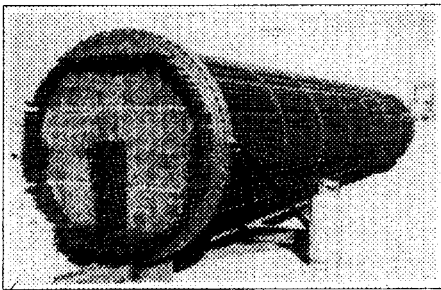


Fig. 14 열교환기와 Tube Sheet

그림 14은 가공 완료된 Tube Sheet에 열교환수가 통과하는 파이프를 조립한 상태의 열설비의 내부이다. 7개의 Tube Sheet가 사용되었고 파이프의 조립도 7부위에서 이루어 졌다. 파이프에 고압의 냉각수가 통과하기 때문에 조립 정밀도가 중요하며 이는 Tube Sheet의 배열 정밀도가 좌우한다. 검증 프로그램을 이용하여 가공 구멍의 위치 정밀도와 조립 정밀도가 뛰어난 Tube Sheet를 가공할 수 있었다.

## 결 론

12축과 6축 드릴 가공 코드의 검증 프로그램은 기존 baffle이나 Tube Sheet 공정을 개선하여 가공 시간 단축으로 생산성을 높일 수 있다. 이 검증 프로그램은 X와 Y방향의 피치 간격을  $1\mu\text{m}$ 까지 검사하고 오류를 발견할 수 있으므로 기존의 검증 가공 방식보다 정밀도와 시간면에서 개선을 보여 주었다. 특히 용접 공정의 제거와 검증 공정의 개선을 통해서 시간 단축 효과가 컸다. 검증 프로그램을 코드 검증과 수정 공정에서 이용하여 위치 정밀도와 조립 정밀도 면에서 우수한 품질을 실현하였다.

## 참고문헌

- [1] Takata, S., Tsai, M.D., Inui, M., sa T., 1989, "A Cutting Simulation System fo Machinability Evaluation Using a Workpiece Model", Annals of the CIRP, Vol. 40, pp. 690-700.
- [2] Lee, H. K., Yang, G. E., Park, S H., Ryhu, B. S., 1996, "Optimal Rough Cutting on Cross Sections", ASME Design Automation Conference, Aug. 19 - 22, California University, Irvan, California,
- [3] manual of multi-drill machine, 199 Siemens co., German
- [4] Visual C++ 완벽 가이드, 1997. 이상엽, 영진 출판사
- [5] Computer Graphics Handbook, 1994, Michael E. Mortenson Industrial Press Inc.