

열교환기 Tube Sheet의 다축드릴가공 검증에 관한 연구

오병환*, 이희관**, 양균의**

A Study on Verification of NC Code of Multi-Spindles Drilling for Tube Sheet in Heat Exchanger

B. H., Oh*, H. K., Lee**, G. E., Yang**

ABSTRACT

A verification of multi-spindles drilling NC data is presented. The drilling of multi-spindles can offer productivity over three times as fast as that of single spindle. The most important things in machining tube sheet are precision of hole position and machining time. The drilling of multi-spindles has difficulties in controlling many motors to drive spindles and assign a correspondent number to each spindle. Multi-spindles drilling has different codes from CNC milling ; many subroutines, assignment of spindle, and so on.

The conventional method, which inspects the NC code of the drilling, is to drill holes on a thin plate or tube sheet previously. The method results in low productivity because it consumed long machining time and welding for correction. This paper describes details of multi-spindles NC code and operation of multi-spindles drilling machine. A verification software of the multi-spindles drilling NC code is developed on the details.

Key words : Tube Sheet(튜브 시트), Multi-Spindles Drilling(다축드릴가공), Verification of NC data (NC 데이터검증)

1. 서론

제조업 분야는 국내외 시장의 경쟁으로 인해 다양한 신제품들을 소비자들에게 신속하게 제공하는 일이 더욱 중요해졌다. 이러한 요구에 부응하기 위해서는 제품의 개발기간과 시제품 제작기간의 단축 등을 통한 신속한 생산기술이 필요하게 되었다.^[1,2] Tube sheet는 발전설비와 난방시설 등에 사용되는 테, 플랜트 업계의 수출 증가에 따라 품질관리에 주목하고 있으며, 국내에서는 환경보호를 위한 소각로 설비를 중심으로 꾸준한 증가 추세에 있다. 또한 티

탄늄 등과 같은 우수하지만 가공하기에 어려운 난색재를 사용하면서 가공 시간 단축을 위해서 많은 노력이 필요로 하게 되었다. 반면에 다축 드릴 가공 및 검증 방식은 다축 드릴 가공 분야가 틈새 분야에 속하고 가공 코드 검증에서 인력 의존적 방식을 지속하면서 많은 시행착오를 반복하고 있다.

Tube sheet에서 가장 중요한 것은 열 교환기 관이(tube) 조립되는 위치인 드릴 가공 부위의 Hole 위치 정밀도와 가공면 품질이라 할 수 있다. 지금까지의 검증방식은 시험 가공을 미리 수행하는 방식으로 이루어 지고 있어 대형 Tube Sheet의 경우 한계

* 현대자동차

** 전북대학교 자동차부품·금형 TIC

가 있으며, 고가 제품의 품질 평가와 신뢰도에 부정적 영향을 미치고 있다. 기존의 가공 코드 검증 방식은 가공코드를 얇은 판이나 Tube sheet에 1mm 정도의 깊이로 시험가공을 수행하여 검증한 후, 후공정으로 용접을 수행함으로써 공정 증가 및 품질 저하의 원인이 되었다.

일반 CNC 밀링의 경우 CAD/CAM 시스템이 개발 활용되고 있으나, 드릴가공의 경우 밀링과 달리 부 프로그램의 활용빈도가 매우 높고 여러 개의 모터 제어 필요성과 함께 축지정 문제가 있어 어려움이 있다.

본 논문에서는 제품 생산시간 단축과 정밀도를 향상시키고자 다축 드릴 가공기의 가공코드 검증 프로그램을 개발하였다. 개발한 시스템은 12축, 6축 드릴 가공코드를 지원하도록 하였다. 논문의 각 장에서 다축 가공기의 구조와 가공 코드 분석 및 검증에 대한 내용을 기술하였다.

2. 다축 드릴 가공기의 구조

다축 드릴 가공기는 universal 종류, orbital 종류, 특수기계류 등 3가지로 분류될 수 있다. 일반적으로 6개까지 주축을 장착할 수 있으며 그 이상은 전용 가공용으로 제작된 특수 가공기에 해당된다. 이 논문에서 다루는 기계는 각각 6개의 주축을 가진 2개의 헤드가 장착되어 있는 특수가공기에 속한다.

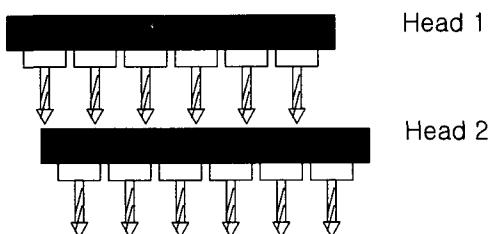


Fig. 1 Structure of 12-spindles drilling machine

Fig. 1은 12축 가공기의 헤드 구조를 보여 준다. 12축 가공기는 2개의 헤드로 구성되었고 각 헤드는 6개의 축과 구동 모터가 장착되어 있다. 12축 드릴 가공기는 난삭재 가공시 강한 절삭 저항에 의해서 2개의 헤드의 셋업이 틀어질 가능성이 있어서 셋업 보정을 자주 할 필요가 있다. 셋업 보정이 확실하지 않거나 12축 가공보다 높은 정밀도를 요구할 경

우 헤드 하나를 선택하여 6축 가공을 이용한다.

12축 드릴 가공기의 제어부(controller)가 지원하는 기능은 Table 1에 설명되어 있으며 G, M, P, O, S, N 코드와 각 코드의 지령 의미를 요약하였다.

Table 1 NC codes in 12-spindles drilling machine

code	instruction
G	<ul style="list-style-type: none"> · set drill position, move drill
M	<ul style="list-style-type: none"> · set motor number, drive motor · call subprogram
P	<ul style="list-style-type: none"> · call subprogram
O	<ul style="list-style-type: none"> · subprogram
S	<ul style="list-style-type: none"> · set spindle number, drilling
N	<ul style="list-style-type: none"> · block number

3. 다축 드릴 가공 데이터의 분석

다축 드릴 가공기의 코드는 일반 CNC의 코드와 비슷하지만 S 코드와 M 코드가 다른 역할을 한다. 다축이기 때문에 축을 구동하는 모터가 여러개 필요하데 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.^[3]

3.1 M 지령

12개의 축은 3개의 모터에 의해 구동되며, 각 모터는 4개의 축을 구동한다. Fig. 2는 각 모터가 구동하는 축들을 보여 주고 있다. 각 모터는 4개의 축을 구동하며 사용되는 축에 따라 구동할 모터가 다르게 지령되어야 한다. 모터 1을 구동하려면 M03, 모터 2를 구동하려면 M13, 모터 3을 구동하려면 M23, 모든 모터를 구동하려면 M33의 지령을 사용한다.^[3] 축의 번호는 사용 빈도를 기준으로 설정한 것이고 가공에 사용할 축을 결정했으면 그 축을 구동하는 모터를 먼저 지정하고 축의 번호를 지시하면 가공을 수행할 수 있다.

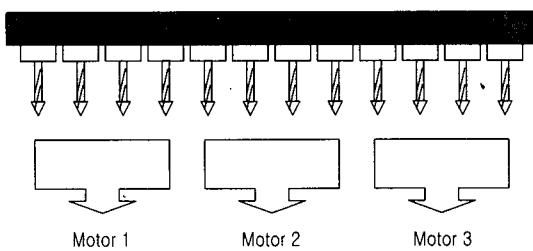


Fig. 2 Spindles driven by motors

3.2 S 지령

다축드릴 가공기의 가공 수행 명령 코드는 S이다. 가공축을 지정하는 코드는 S이며 S코드의 번호가 축의 번호를 지시하고 있다. 이 코드는 각 축에 이진법으로 지령이 되고, 이 수의 합으로 코드가 설정된다. 예를 들면, S4095은 12개의 드릴축이 사용되었다. S코드의 번호를 이진법으로 표현하여 계수가 1이면 축이 사용되고, 0이면 축이 사용되지 않는 것이다. Fig. 3에 축의 번호와 S지령의 관계성을 나타냈다. 축의 번호 N 이면 축을 지정하는 이진값은 2^{N-1} 이다. 여러개의 축이 동시에 사용될 경우는 각 축에 해당하는 이진값의 합으로 지령하게 된다.

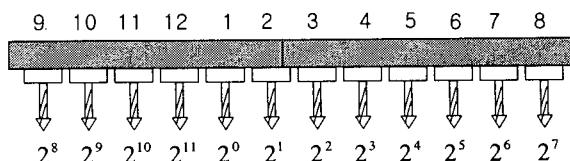


Fig. 3 Spindles corresponding to binary values

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 위치를 곱하면 축의 위치를 지정할 수 있다. 식 (1)은 S 코드 값을 이진법으로 변환한 후 계수가 1이면 그 축이 사용되는 것을 의미한다.^[3]

$$s = \sum_{i=0}^{i=N} \alpha_i 2^i \quad (1)$$

여기서, i 는 각 축에 설정된 번호이고, α 는 축 사용의 여부를 결정하는 계수이다. α 가 1이면 i 번의 축이 사용된다. s 는 S지령의 섭진수이다.

3.3 P와 O 지령

P와 O코드는 부 프로그램을 호출할 때 사용한다. M04와 함께 P코드는 부프로그램을 호출하고 O코드는 부프로그램을 지정하고 부프로그램은 M99로 종료를 한다. 이 P코드의 번호와 O코드의 번호를 정확히 인식해야 가공패턴을 정확히 지령할 수 있다. 예를 들면 M98P44은 O44의 부프로그램을 호출하고 O44는 드릴구멍의 패턴 가공을 한다.^[3]

부프로그램은 새로운 부프로그램을 호출할 수 있어 복잡한 구조를 지원할 수 있어야 한다. 그래야 프로그램을 효율적으로 작성할 수 있기 때문이다.

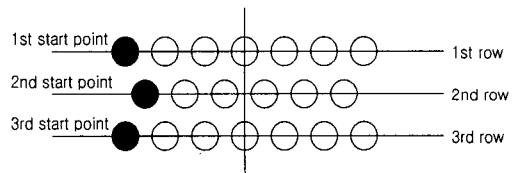


Fig. 4 Drilling position in tube sheet

Fig. 4에서 각 행은 하나의 부프로그램으로 작성되어 있으며 O 코드에 의해서 헤더(header)가 정의가 된다. 그리고 각 행의 부프로그램은 P 코드에 의해서 주프로그램으로 호출된다.

4. 검증 프로그램 구현

검증 프로그램은 2장의 기계 구조와 3장의 가공 코드를 이용하여 Fig. 5과 같은 순서로 작동한다. NC data는 파일형태로 되어 있다. NC data내의 G 코드로 초기점을 설정하고 S code로 각 축을 지정한다. 그리고 P와 O코드로 구성된 subprogram에서 드릴가공 위치를 계산하고 화면에 표시한다. 디아일로그를 통해서 입력된 패턴값으로 NC data의 수치데이터를 검증하고 오류가 발생하면 오류표시를 한다.

현장에서 tube sheet 가공을 위해서 사용하는 도면은 그리드 용지(grid)에 훌 위치를 표시하거나 2D CAD로 작업을 하고 있다. 가공자가 이 도면을 보

고 NC 데이터를 작성하고 검증한 후 가공을 수행하는 것이다.

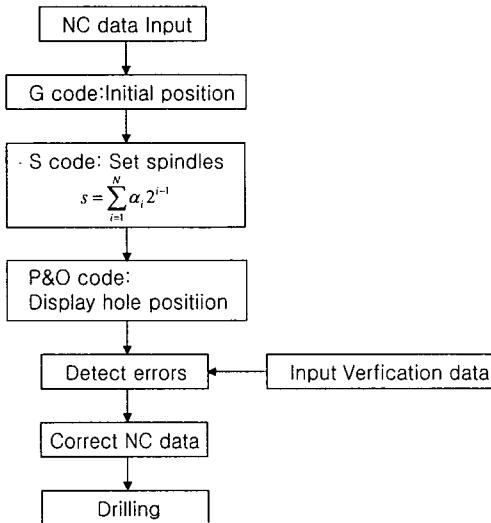


Fig. 5 Process of verification program

이 검증 프로그램의 장점은 각 구멍 가공 위치의 거리를 계산하여 NC 코드에 존재하는 오류를 계산하여 1/1000mm의 오차도 검증할 수 있다는 것이다. 인터페이스는 Tube Sheet의 모양과 각 피치의 값 등을 입력하도록 하였다.

Fig. 6의 다이얼로그는 검증 프로그램을 구동하기 위해 필요한 입력 값들을 보여준다. 입력 1에서 파일 이름은 가공 코드이고, 반경은 배블(Baffle)이나 튜브 쉬트의 반경이다. Y피치수는 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.^[4,5] 그리고 맨 밑에 원과 사각형 선택 버튼은 배플과 Tube Sheet의 외형을 선택할 수 있도록 하였다. 이용한 드릴 가공 코드의 검증 예이고, Fig. 8는 사각 Tube sheet에 6축 가공코드를 이용하여 구멍 가공을 하는 코드를 검증한 예이다. 34개의 행과 각 행의 파이프가 조립될 구멍이 지정되었고, 오른쪽에 각 열과 행에서 구멍의 위치 정밀도가 잘못된 부위를 표시하였다.

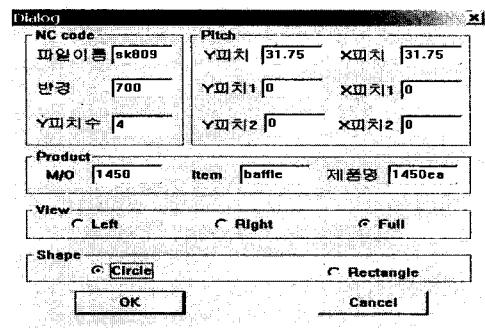


Fig. 6 Inputs to verify NC data

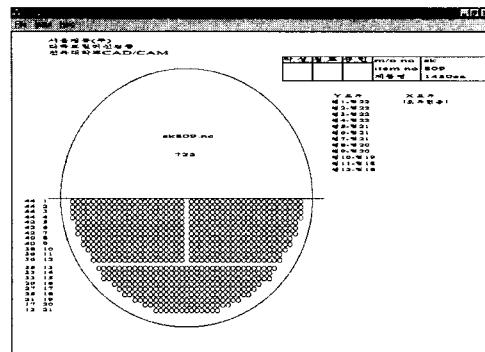


Fig. 7 An example of 12 spindles drilling

Fig. 8 An example of 6 spindles drilling

Fig. 7은 원형 Tube Sheet에 12축 가공 코드를 검증 프로그램에서 오류로 발견된 곳은 수작업으로 가공 코드를 수정하게 된다. 검증 프로그램을 이용한 정밀도 향상은 NC 코드의 수치데이터가 오류를 포함하고 있지 않다는 것을 의미한다.

82

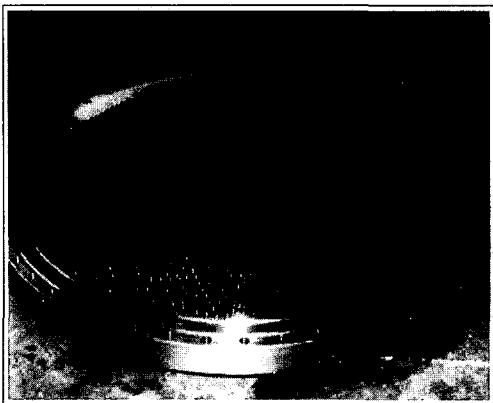


Fig. 9 A drilled tube sheet

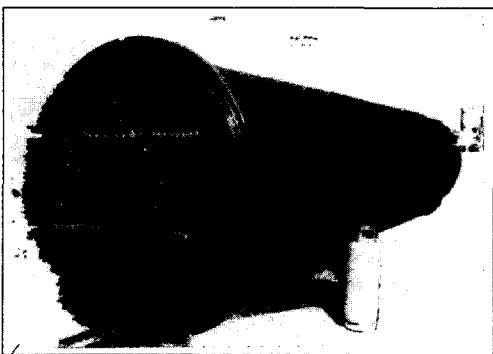


Fig. 10 Heat exchanger

Fig. 9는 가공 코드 검증 프로그램으로 가공 코드를 수정한 후에 가공된 제품이다. Fig. 10은 가공 완료된 Tube Sheet에 열냉각수가 통과하는 파이프를 조립한 상태의 열설비의 내부이다. 8개의 Tube Sheet가 사용되었고 파이프의 조립도 7 부위에서 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 향상된 Tube Sheet를 가공할 수 있었다.

기존 다축 드릴가공의 NC 데이터 검증은 얇은 판이나 TubeSheet에 1mm 깊이로 시험 가공하는 방식이었다. 그리고 홀 위치를 측정해서 NC 데이터를 검증하고 수정하였다. 오차가 발생하면 홀 가공된 부위를 용접하고 반복 검증을 거쳐야 했다. 적은 오차율 발견하기 힘들었고, 시험 가공을 해야했

기 때문에 시간이 많이 소모되었다.

검증프로그램이 개선한 점은 이런 작은 오차 발견과 오차 발견을 위해서 시험 가공을 하지 않아도 된다는 것이다. 홀가공 수가 800 - 1000 정도인 TubeSheet는 기존 방식으로는 8시간 정도 걸린다. 그리고 티탄늄 TubeSheet에 15000개 정도의 홀 가공을 하는 경우에 72시간 정도 소요된다. 검증 프로그램을 사용하면 30분정도에 가공코드 오류를 발견하고 수정할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 다축 가공 데이터 검증에 관한 내용을 기술하였고 다음과 같은 성과를 얻었다.

1. 12축과 6축 드릴 가공 코드의 검증 프로그램은 기존 baffle이나 Tube Sheet 공정을 개선하여 가공 시간 단축으로 생산성을 높일 수 있다. 이 검증 프로그램은 NC 코드내의 X와 Y방향의 피치 간격을 $1\mu\text{m}$ 까지 검사하고 오류를 발견할 수 있으므로 기존의 검증 가공 방식보다 정밀도와 시간 면에서 개선을 보여 주었다.

2. 특히 용접 공정의 제거와 검증 공정의 개선을 통해서 시간 단축 효과가 컸다.

참고문헌

1. Takata, S., Tsai, M.D., Inui, M., sata, T., "A Cutting Simulation System for Machinability Evaluation Using a Workpiece Model," Annals of the CIRP, Vol. 40, pp. 690-700, 1989.
2. Jerard, R. B., et al., "Methods for Detecting Error in Numerically Controlled Machining of Sculptured Surfaces," IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 26~39, 1989.
3. Siemens co., manual of multi-drill machine, Siemens co. in German, 1990.
4. 이건우, 컴퓨터그래픽과 CAD, 영지문화사, pp. 25-77, 1990.
5. D. F. Rogers, J. A. Adams, Mathematical Elements for Computer Graphics, Mc Graw Hill, pp. 61-100, 1990.