

Dieless CNC Forming 을 위한 CAD/CAM 시스템 개발

최동우*(경남대 대학원 메카트로닉스), 진영길(경남대 대학원 기계공학과),
강재관, 왕덕현(경남대 기계자동화공학부)

Development of CAD/CAM system for dieless CNC forming

D. W. Choi(Mechatronics. Eng. Dept. KNU), Y. G. Jin(Mecha. Eng. Dept., HKU),
J. K. Kang, D. H. Wang (Mecha. Eng. Dept. KNU)

ABSTRACT

The sheet parts are formed with dies conventionally. But this conventional forming process is not suited to small volume and varied production for the reason of high cost. For the solution of this problem, a new forming process, which is called CNC incremental sheet forming, is being introduced. This process can form sheet parts without die, and is very well suited to small volume and varied production in space flight and automobile. In this paper, dieless CNC forming system based on a machining center is developed. A special device to grasp and pull the blank sheet built in the machining center and tool path generation S/W from STL file of 3-D model are developed. Several sheet parts are incrementally formed to verify the effectiveness of the developed system.

Key Words : Dieless CNC forming(다이레스 CNC 포밍), Incremental forming(점진성형), Sheet metal forming(판재성형), Tool path generation(공구경로생성), Layered manufacturing(적층가공)

1. 서론

무금형 판재 기술은 일반적인 판재 성형과 달리 금형을 이용하지 않고도 형상을 부여할 수 있는 판재 성형 기술로서 최근 선진국을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있는 신 성형 기술이다¹⁻⁷

자동차, 선박, 항공기, 전철 등의 외장품은 2 차원 또는 3 차원 곡면을 갖는 금속 판재로 제작되는 경우가 많다. 곡면제품 특히 3 차원 곡면 제품을 성형하는 방법으로는 전통적으로 서로 일치하는 한 쌍의 금형을 사용하여 판재를 프레스 성형 한다. 그러나 프레스 성형 공법은 고가의 금형비와 설계에서 양산에 이르기까지 많은 시간이 요구되는 문제점이 있기 때문에 다품종소량생산, 단납기로 표현되는 최근의 제품 개발 환경에 따라 금속 판재를 다양한 형태의 제품으로 제조할 수 있는 무금형 점진판재성형(dieless incremental sheet forming)기술이 크게 주목을 받고 있다.

다이레스 성형의 원리는 설계 형상의 CAD 정보로부터 점진 성형에 필요한 공구 궤적에 관한 정

보를 추출하여 CNC 운동을 이용하여 판재를 점진적으로 성형한다. Fig. 1 에서와 같이 블랭크재(SUS 또는 알루미늄)를 X-Y 테이블 상에 클램핑한 후 성형은 Z 축에 장착된 블 형상의 공구가 점진적으로 블랭크재를 강압하면서 형을 만들어 나간다. 이 때 X-Y 테이블과 Z 축의 이송 제어는 CAD 형상으로부터 생성된 NC 데이터에 의해 수행된다. 성형 과정 중 블랭크재를 지지하기 위한 지그가 필요하며 공구는 등고선 모양의 공구 궤적을 그리며 일주 운동을 한 후 Z 축 방향(아래쪽)으로 공구를 보내는 방식으로 점진 성형이 수행된다.

본 연구에서는 다이레스(dieless) CNC 포밍머신을 이용하여 다양한 판재성형 가공물을 제작하는 과정을 구현한다. 또한 3 차원 CAD 형상으로부터 점진판재성형에 필요한 CNC 코드를 생성하는 방법에 대하여 논의하고 CNC 머시닝 센터에 블랭크재를 잡아주는 치구부를 제작하여 positive forming 을 구현한 결과를 설명한다.

2. CNC Forming 시스템

2.1 머시닝 센터를 이용한 CNC 포밍 구현

점진판재성형공법을 이용한 다이레스 CNC 포밍을 구현하기 위해서는 x,y,z 3 축을 동시 제어하는 장치가 필요하다. 본 연구에서는 x,y,z 3 축 NC 제어 장치로 실험실에 보유하고 있는 머시닝센터(TNV-80)를 사용한다. 블랭크재를 취부하는 고정 장치를 머시닝센터의 xy 테이블 상에 고정시키고 말단 부위가 등글게 가공된 공구를 사용한다. 판재를 하방향으로 일정한 압력으로 당기는 가이드포스트(Guide post)로서는 에어실린더 사용하며 판재의 고정을 위해서는 볼트로 체결되는 상하 고정판(fixed plate)을 사용한다. Fig. 2 는 머시닝센터에 구현한 Dieless CNC 포밍 머신을 보여준다.

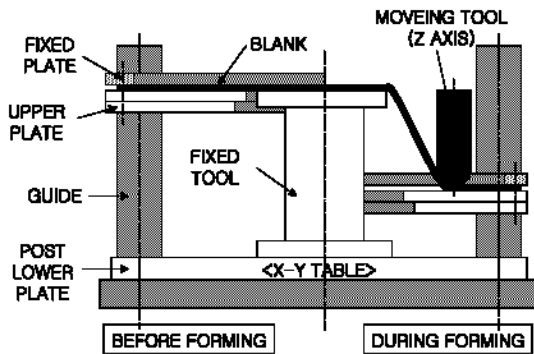


Fig. 1 Principle of dieless CNC forming

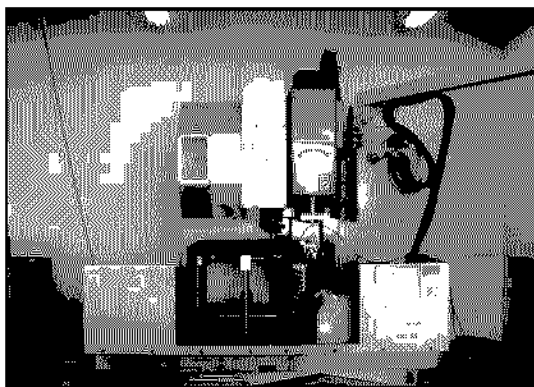


Fig. 2 Dieless CNC forming machine built in machining center

2.2 공구경로 생성 절차

점진판재성형공법을 이용한 다이레스 CNC 포밍에서의 공구경로는 쾌속조형기에서 사용하는 적층가공(layered manufacturing)과 유사하다 [8-10]. 즉 등고선 가공 경로를 따라 점진적으로 Z 축 방향으로 성형해 나간다. 다이레스 CNC 포밍을 위한 NC 공구경로를 생성하는 절차는 Fig. 3 과 같다.

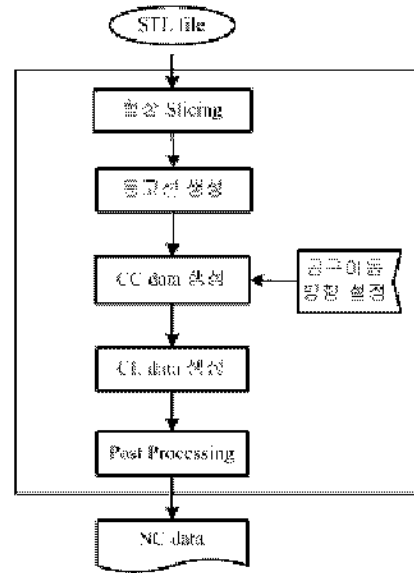


Fig. 3 Tool path generation procedures

2.3 형상 Slicing

STL 파일을 입력 받으면 성형방향(Z 축방향)과 수직인 절단평면(cutting plane)을 일정한 간격으로 정의하고 STL 형상을 절단한다. 각각의 절단평면과 삼각 facet 간의 교점을 구하고 교점들을 연결하여 등고선을 생성한다.

교차점을 구하는 과정에서 절단 평면과 만나는 점을 찾기 위해 전체 삼각형상의 선분과 교차하는지의 여부를 판별하는 것은 검색과 처리 시간에서 비효율적이기 때문에 본 연구에서는 삼각형을 하나씩 읽어오면서 그 삼각형에 포함되는 절단평면을 구하여 교차점을 계산한다.

절단평면을 구하기 위하여 먼저 삼각형에 포함되는 절단평면이 몇 번째 절단평면인지를 계산해야 한다. 그러면 절단평면의 번호와 Slicing 두께를 곱하므로써 모델링 형상의 최저 z 와의 거리를 계산할 수 있다.

먼저 모델링 형상의 최저 z 와 삼각형의 최저 z 사이에서의 절단평면의 개수를 구하면 삼각형에 포함되는 절단평면의 바로 밑의 절단평면의 번호를 구할 수 있다. 따라서 그 개수에 1 을 더해주면 삼각형에 포함되는 절단평면이 몇 번째 절단평면인지 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$P_N = \frac{(z_{\min} - z_{\min}^0)}{T} + 1 \quad (1)$$

여기서 P_N 은 몇 번째 절단평면인지를 나타내고, z_{\min} 은 삼각형의 최저 z 값, z_{\min}^0 은 모델링 형상

의 최저 z 값, T 는 Slicing 두께를 의미한다.

몇 번째 절단평면인지 구해지면 식 (2)와 같이 삼각형에 포함되는 $z = h$ 절단 평면을 구할 수 있다.

$$h = z_{\min}^0 + T \cdot P_N \quad (2)$$

이와 같이 절단 평면이 구해지면 삼각형의 각 선분과의 교차점을 계산한다.

두 점 $p_1(x_1, y_1, z_1)$ 과 $p_2(x_2, y_2, z_2)$ 로 이루어진 선분의 직선의 방정식을 아래의 식과 같이 매개변수 t 를 이용한 방정식으로 표현할 수 있다.

$$x = x_1 + t(x_2 - x_1) \quad (3)$$

$$y = y_1 + t(y_2 - y_1) \quad (4)$$

$$z = z_1 + t(z_2 - z_1) \quad (5)$$

또한, 절단평면의 방정식은

$$z = h \quad (6)$$

로 표현된다. 따라서, 식 (5)와 (6)로부터 매개변수 t 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t = \frac{h - z_1}{z_2 - z_1} \quad (7)$$

위 식으로부터 삼각형의 각 선분과 절단평면과의 교점은 아래 식과 같이 구할 수 있다.

$$x = x_1 + (x_2 - x_1) \left(\frac{h - z_1}{z_2 - z_1} \right) \quad (8)$$

$$y = y_1 + (y_2 - y_1) \left(\frac{h - z_1}{z_2 - z_1} \right) \quad (9)$$

$$z = h \quad (10)$$

위 식으로부터 주어진 선분과 절단평면과의 교점들을 연결하면 하나의 line segment 를 구할 수 있다. 각각의 line segment 들을 Fig. 4 와 같이 z 값 순서대로 연결리스트로 저장한다.

2.4 공구경로 생성

일반적인 적층가공에서는 위에서 생성된 페루프를 순회하면서 가공을 하지만 Dieless CNC 포밍에서는 공구의 반경을 고려하여야 한다.

Fig. 5 에서와 같이 공구의 반경을 고려하여 공구경로를 생성하기 위해서는 각 line segment 에서의 법선 벡터의 값이 필요하다. 본 연구에서는 STL 파

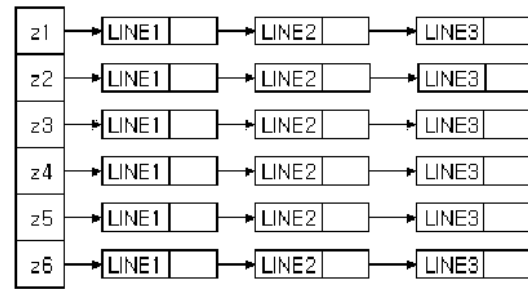


Fig. 4 Data structure of intersection lines

일을 구성하는 삼각형의 N 법선 벡터를 교차점을 계산할 때 line segment 과 함께 저장하여 공구경로 생성시 사용하도록 한다.

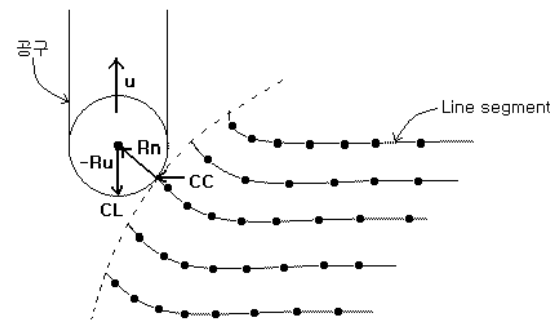


Fig. 5 CC and CL points

공구와 line segment 의 접촉점을 CC(Cutter Contact) 데이터, 공구의 위치를 나타내는 좌표값을 CL(Cutter Location) 데이터라고 하고 공구의 반경을 R , 공구의 축 방향을 단위벡터 u 로 표시하면 CL 데이터는 접촉점 CC 로부터 다음과 같이 구해진다 [11].

$$CL = CC + R(n - u) \quad (1)$$

이렇게 구한 CL 데이터를 G-Code 로 변환하여 가공을 하는데 이 때 가공방향은 쾌속조형기와 달리 성형성을 높이기 위해서 각 층(Layer)에서 공구 경로 방향을 CW, CCW 로 교번하게 설정한다. 가공 방향을 동일하게 할 경우 성형 형상이 한쪽으로 distort 될 가능성이 있기 때문이다.

3. 성형실험

본 연구에서 개발한 머시닝센터를 이용한 dieless NC 포밍 머신과 공구경로 생성 프로그램을 이용하여 점진판재성형 실험을 수행하였다. 판재재료로는 SUS 를 사용하였다. Fig. 6 은 본 연구에서 구현한

CAM 소프트웨어를 보여주고 있다. STL 파일을 읽어와 형상을 화면에 drawing 하고, 슬라이스 다이얼로그에서 슬라이싱 두께와 공구 반경을 입력으로 받아 형상의 전면을 그리고 슬라이드 바를 움직여 모든 layer 에서 절단된 형상의 모습을 볼 수 있다. 그리고 이러한 정보를 바탕으로 G-Code 를 출력하여 dieless CNC forming 기제에서 성형 실험을 하여 형상을 가공했다.

성형실험은 positive forming 방식으로 진행하였는데 positive forming 의 경우 실린더 형상의 지지대를 사용하였고 성형작업이 진행되는 중에 고정장치가 블랭크재를 하방향으로 지속적으로 잡아당기도록 하였으며 성형결과는 Fig. 7 에 나타내었다.

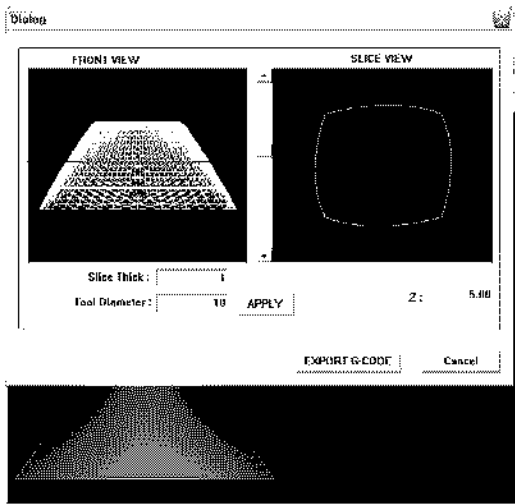


Fig. 6 Tool path for dieless CNC forming

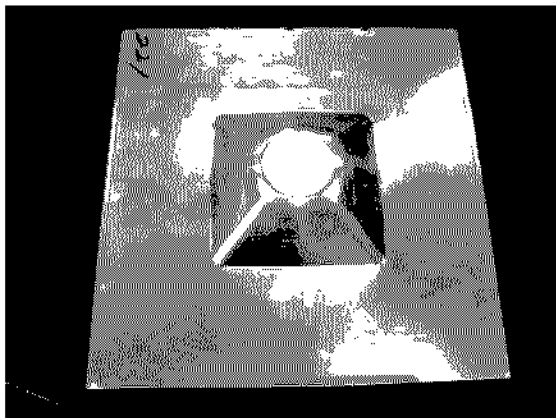


Fig. 7 CNC forming result

4. 결론

일반적인 판재 성형과 달리 금형을 사용하지 않

고도 형상을 부여할 수 있는 판재 성형 기술을 무금형 점진 판재 성형이라 한다. 본 연구에서는 점진 판재 성형을 구현하기 위하여 CNC 머시닝센터 상에 블랭크재를 취부하는 고정장치를 개발하여 장착시키고 x, y, z 3 축 운동 제어 장치를 머시닝센터를 이용하여 다이레스 CNC forming 을 구현하였다.

다이레스 CNC 포밍을 위한 CAD/CAM 시스템은 3D 형상의 STL 파일을 이용하여 적층가공에서 사용하는 z 평면과의 슬라이싱과 CC 데이터 산출, 공구 반경을 고려한 CL 데이터 산출 등의 방법으로 NC 공구경로를 생성하였다. 이 시스템을 이용하여 positive 방식으로 수행한 점진판재성형실험은 다이레스 NC forming 의 가능성을 보여 주었으며 다이레스 NC forming 머신의 상용화 개발에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. K.Dai, Z.R. Wang, Y. Fang, 2000, CNC incremental sheet forming of axially symmetric specimen and the locus of optimization, J. Mater. Process. Technol, Vol. 102, pp. 164-167.
2. M.S. shim, J.J. park, 2001, "The formality of aluminum sheet in incremental forming", J. Mater. Process. Technol, Vol. 113, pp. 654-658.
3. Y.H. Kim, J.J. Park, 2002, "Effect of parameters on formability in incremental forming of sheet metal", J. Mater. Process. Technol, Vol. 130, pp. 42-46.
4. J.J. Park, Y.H. Kim, 2003, "Fundamental studies on the incremental sheet metal forming technique", J. Mater. Process. Technol, Vol. 140, pp. 447-453.
5. 박종우, 2003, "금속판재의 무금형 프레스 성형기술", 월간프레스기술, 제 10 권, pp. 80-89.
6. 아미노, 2003, "금형을 필요로 하지 않는 3 차원 디지털 가공기술", 월간프레스기술, 제 2 권, pp. 38-45
7. <http://www.geocities.com/motionc2002/tech.html>
8. S.H. Choi, K.T. Kwok, 2002, "Hierarchical slice contours for layered-manufacturing", Computers in Industry, Vol. 48, pp. 219~239.
9. 최홍태, 김준안, 1995, "Stereo lithography 를 위한 STL 파일로부터 단면정보 변환시스템의 개발", 한국정밀공학회지, 제 11 권, 제 11 호, pp. 140~147.
10. 이우중, 이용현, 홍유석, 1992, "Rapid Prototyping System 을 위한 형상정보 변환절차", 대한산업공학회지, 제 18 권, 제 1 호, pp. 63~80.
11. 최병규, 1989, "CAM 시스템과 CNC 절삭가공", 청문각, pp. 227~231.