

● 연구 논문

AutoLISP을 이용한 롤 성형 공정의 플라워 설계

김 광 희*·정 동 원**

Flower Design of Roll Forming Process Using AutoLISP

K. H. Kim* and D. W. Jung**

Key Words : Roll Forming(롤 성형), Flower Design(플라워 설계), AutoCAD, AutoLISP

Abstract

Because of the complexity of the flower design of roll forming process, in which the flat strip is progressively deformed by successive sets of profiled rolls, a computer-aided design system for the flower design has been developed. It is programmed in AutoLISP and DCL(Dialogue Control Language) of AutoCAD. It has been found that the system is helpful in saving the time and effort required to design the flower of the product to be roll-formed.

1. 서 론

롤 성형(roll forming) 공정은 연속적으로 설치된 여러 쌍의 성형롤 사이로 압연 강판과 같은 편평한 금속 띠판(strip)을 연속적으로 통과시키면서 점진적으로 성형하여, 길이 방향으로 동일한 단면 형상을 가지는 여러 가지 제품을 정밀도가 높게 매우 경제적으로 대량생산 할 수 있는 공정으로, 경량의 구조재, 파이프 등은 건축 자재, 가구, 가전제품, 의료기, 철도차량, 자동차, 항공기 등에 널리 사용되고 있으며 적용분야가 꾸준히 증가하고 있다. 최근에는 생산원가를 낮추어 경쟁

력을 갖추기 위하여 프레스 공정 등 기존의 다른 공정으로 생산하던 제품들도 롤 성형 공정으로 바꾸는 추세이다. 특히 자동차의 무게를 줄여 연비를 향상시키기 위하여 플라스틱 범퍼를 채용하는 자동차가 많아지고 있으나 생산비가 높고 재활용에 문제가 있어서, 고강도 강판을 사용하여 두께와 무게를 줄이고 롤 성형 공정으로 생산하여 강도를 높인 범퍼를 채용하는 자동차 회사가 늘고 있다¹⁾.

롤 성형 공정으로 원하는 제품을 생산하기 위한 성형 롤(forming roll)들을 설계하기 위해서는 먼저 플라워(flower)를 작성하여야 한다. 플

* 부경대학교 정밀기계공학과

** 제주대학교 기계공학과

라워란 원하는 제품의 단면 형상을 얻기 위하여 편평한 소재(flat blank)로부터 점진적으로 변형되어 가는 각 단(pass, station)에서의 소재의 단면 형상을 겹쳐 놓은 것으로, 최종 제품의 단면 형상으로부터 편평한 소재가 될 때까지 각 굽힘부를 점진적으로 펴서 얻을 수도 있다. 편평한 소재와 최종 단면 형상 사이의 중간 단계에서의 단면 형상은 변형 및 치수 정밀도 등에 문제가 생기지 않도록 각 단 사이에서 급격한 변형이 없이 점진적 변형이 이루어져야 하며 최소의 단 수를 갖도록 하여야 한다. 그러나 각 굽힘부의 굽힘 반경 및 굽힘각의 치수 정밀도를 만족하면서 찢어짐이나 주름 등의 결함이 생기지 않도록 부드럽게 유동하는 최소의 단수를 갖는 플라워를 작성하기 위해서는 단면 형상의 복잡성, 소재의 물성, 성형 속도, 성형기의 사양, 각 굽힘부의 굽힘 순서 등을 복합적으로 고려하여야 하므로, 인공지능(AI) 기법을 적용하여 최적의 플라워와 롤 형상을 자동적으로 생성하는 전문가 시스템(expert system)²⁾의 개발을 일부에서 시도하고 있으나 아직은 대부분 성형 롤 설계자가 많은 경험을 바탕으로 시행착오를 거치면서 직접 작성하고 있다.

성형 롤 설계자가 수작업에 의하여 플라워를 작성하기 위해서는 간단한 단면 형상의 제품을 제외하고는 대부분 컴퓨터 이용 설계(CAD) 소프트웨어를 이용하여야 하고, 각 단에서의 단면 형상을 그리기 위해서는 지루하고 반복적인 작도를 하여야 한다. 설계자는 작성된 플라워를 직접 눈으로 보면서 지금까지의 경험 등을 바탕으로 분석 검토하여 결함이 생기지 않고 치수 정밀도를 만족하는 최종 제품을 생산할 수 있는 최소의 단수를 갖는지를 판단하여 만족스러운 플라워가 얻어질 때까지 반복적으로 수정하여야 하므로 많은 시간이 소요된다. 특히 각 굽힘부의 굽힘각이 변화할 때 마다 직선부(leg)의 길이나 굽힘 반경(bend radius)을 계산하여야 하므로, 작도 중에 반복적으로 계산을 하여야 하며 실수가 생길 가능성이 높고 만족할 만한 플라워를 얻을 때까지 무수히 반복하여야 하므로 많은 시간과 노력을 요구하고 있다. 작성된 플라워에 대하여 해석적

(analytic) 방법³⁾이나 유한요소법(finite element method)⁴⁾으로 해석한 결과를 바탕으로 플라워를 수정하여 결함이 발생하지 않는 최적의 플라워 및 성형 롤을 설계하는 방법이 도입되고 있으나 아직 플라워 자체는 설계자가 직접 작성하여야 한다. 각 굽힘부의 굽힘 반경, 굽힘각 그리고 직선부를 계산하는 프로그램을 작성하여 그 결과를 가지고 롤 플라워를 작성함으로써 정확도를 높이고 시간을 절약할 수 있으나 역시 플라워를 그리는 작업에 많은 시간과 노력이 소요되고 있다.

따라서 본 연구에서는 제품의 단면 형상을 입력하고 각 단에서의 각 굽힘부의 굽힘각만 입력하면 플라워가 즉시 그려지는 대화식 프로그램을 개발하여 롤 설계자가 반복적이고 지루한 계산 및 작도 작업을 하지 않고 플라워 자체의 분석 검토에 전념하여 최적의 플라워를 단시간 내에 작성하여 이를 바로 롤 설계에 이용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 컴퓨터 이용 플라워 설계

2.1 플라워 작성 프로그램

현재 국내의 산업체에 가장 흔하게 보급되어 있는 개인용 컴퓨터(PC)용 컴퓨터 이용 설계 소프트웨어는 AutoCAD이며 이것은 범용 설계 소프트웨어로 사용자의 요구에 적합하도록 전용화(customizing)할 수 있는 AutoLISP이라는 도구를 가지고 있다. 본 연구에서는 AutoLISP를 이용하여 제품의 단면 형상을 입력하고 각 단에서의 각 굽힘부의 굽힘각만 입력하면, 플라워가 즉시 그려지면서 각 단에서 다음 단으로 변형하면서 소재가 길이 방향에 수직인 단면상에서 허용치 이상을 이동하여 과도한 길이방향의 인장에 의한 터짐이나 주름 등의 결함이 발생할 가능성이 있는지를 알려 주는 대화식 프로그램을 작성하였다. 입력된 각 단에서의 각 굽힘부의 굽힘각에 대하여 그려진 플라워를 검토하여 만족할 만한 플라워가 얻어질 때까지 굽힘각을 수정할 수 있도록 하였고 최종의 플라워를 롤 설계에 바로

이용할 수 있도록 각 단의 단면 형상이 각각 다른 레이어(layer)에 그려지도록 하였다.

본 연구에서 작성한 프로그램을 간단히 설명하면 다음과 같다. 롤 성형기의 각 단 사이의 거리, 원하는 제품의 두께와 단면 형상 그리고 길이 방향의 인장 변형도(strain)의 허용치 등은 문자판(keyboard)에서 직접 입력하거나 파일로 입력할 수 있도록 하였다. 프로그램의 검증을 위하여 Fig. 1과 같이 대칭 단면 형상을 가진 제품을 예로 택하였으며 물론 비대칭 단면 형상을 가진 제품의 플라워도 작성할 수 있도록 하였다. 예로 택한 제품의 단면 형상은 좌우가 대칭이므로 중심선이 수직 가이드 라인(vertical guide line)이 되며 수평 가이드 라인(horizontal guide line, pass line)의 위치는 설계자가 결정할 위치이지만 이 제품의 경우에는 Fig. 1에서와 같이 점 A(또는 점 A')를 통과한다고 가정하였다. 플라워 포인트(flower point)라고도 불리우는 수평 가이드 라인과 수직 가이드 라인의 교점을 좌표축의 원점으로 택하였고, 편평한 소재가 그려지기 시작하는 점이 되도록 하였으며, x-축과 y-축은 그림에서 보인 것과 같이 선택하였다.

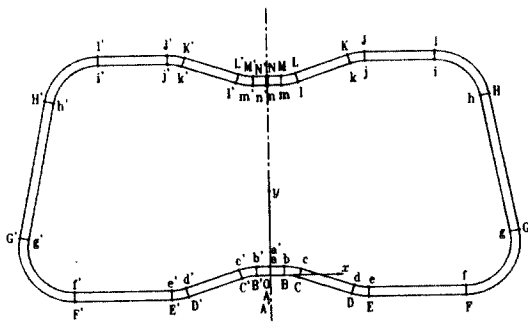


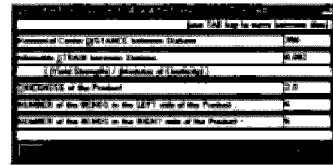
Fig. 1 The cross-sectional shape of the sample product

문자판에서 입력할 경우에 편리하도록 AutoCAD의 대화 제어 언어(dialogue control language)를 이용하여 대화 상자(dialogue box)가 Fig. 2와 같이 나타나도록 하였다. Fig. 2(b)는 문자판에서 직접 입력할 경우에 롤 성형기의 각 단 사이의

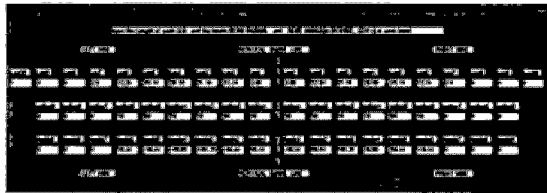
거리, 길이 방향의 인장 변형도(strain)의 허용치, 최종 제품의 두께와 좌우부분의 굽힘부의 수를 입력하는 대화 상자가 나타난 모습이며 파일에서 읽어들이는 경우에는 나타나지 않는다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 The dialogue boxes to select the input method for the data of the forming machine and the final product(a), to input the distance between stations, allowed tensile strain, thickness and the number of bends(b), to input the lengths of legs, inside bend radii and bend angles(c)

Fig. 2(c)는 최종 제품의 각 직선부의 길이, 각 굽힘부의 내측 굽힘반경 및 굽힘각을 입력하는 대화 상자가 나타난 모습이며 역시 파일에서 읽어들이는 경우에는 나타나지 않는다. 예로 택한 제품의 경우에 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 수직 가이드 라인의 좌우에 각각 모두 6개의 굽힘부가 있으며 편의상 좌측부분에서는 굽힘부 B'C'부터, 우측부분에서는 굽힘부 BC부터 각각 번호를 순차적으로 부여하였다. 직선부는 좌우에 각각 모두 7개가 있으며, 좌측부분에서는 직선부 A'B'부터, 우측부분에서는 직선부 AB부터 각각 번호

를 순차적으로 부여하였다. 본 연구에서 사용한 개인용 컴퓨터의 화면 해상도는 최대 1280*1024로 한 화면에 표시할 수 있는 대화 상자의 크기가 제한되기 때문에 좌우에 각각 최대 9개의 굽힘부까지 입력할 수 있도록 하였으며 더욱 높은 해상도의 화면을 사용할 경우에는 프로그램을 쉽게 수정하여 굽힘부의 수를 늘릴 수 있다.

굽힘각은 좌측부분에서는 점 A'에서 출발하여 점 B', C', D' 쪽으로 따라갈 때, 우측부분에서는 점 A에서 출발하여 점 B, C, D 쪽으로 따라갈 때 반시계방향으로 굽히면 양(+)으로 표시하였다. 따라서 좌측부분에서는 굽힘부 B'C'의 경우 호 B'C'의 반경이 내측 굽힘 반경이 되며 굽힘각은 반시계방향이므로 양이 된다. 반대로 굽힘부 D'E'의 경우 호 d'e'의 반경이 내측 굽힘 반경이 되며 굽힘각은 시계방향이므로 음(-)이 된다. 우측부분에서는 굽힘부 BC의 경우 호 BC의 반경이 내측 굽힘 반경이 되며 굽힘각은 시계방향이므로 음이 된다. 반대로 굽힘부 DE의 경우 호 de의 반경이 내측 굽힘 반경이 되며 굽힘각은 반시계방향이므로 양이 된다. 대화상자에서 입력이 필요한 란만 활성화 되고 나머지는 X가 표시되면서 비활성이 되도록 하였다.

다음에는 중립점의 위치를 어떻게 결정할 것인지와 시작점(Fig. 1에서의 점 A)의 y좌표값 및 직선 AB방향의 기울기를 입력하는 대화 상자가 나타난다. 점 A의 x좌표값은 0으로 지정되도록 하였다. 점 A에서 B를 연결하는 직선의 기울기는 x-축과 이 직선 사이의 각으로 표시하며 양의 x-축으로부터 이 직선까지의 방향이 반시계방향이면 양으로 표시한다. 직선 A'B'방향의 기울기는 직선 AB방향의 기울기에 180° 를 더한 값이 된다.

그 다음으로 각 굽힘부에 대응하는 편평한 소재의 길이(bend allowance)를 계산하고 최종 제품의 단면 형상을 그릴지 여부를 묻고 그리는 쪽을 선택을 하면 최종 제품의 단면 형상을 보여주면서 원하는 제품의 형상이 올바르게 입력되었는지 확인을 하도록 요구한다. Fig. 3은 최종 제품의 단면 형상을 보여주면서 플라워의 설계에 들어가기 위해 단 수를 묻는 대화 상자가 나타나는 모습이다.

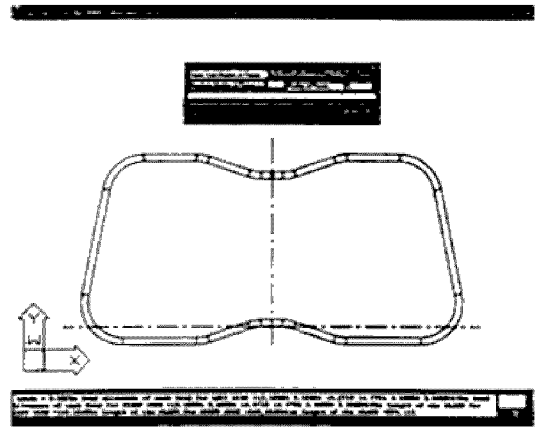


Fig. 3 The shape of the final product and dialogue box to input the number of passes

다음에는 Fig. 4와 같이 1단부터 11단까지 각 단에서 각 굽힘부의 굽힘각과 시작점의 위치 및 기울기를 입력하는 대화 상자가 나타나도록 하였다. 한 화면에 표시할 수 있는 대화 상자의 크기가 제한되기 때문에 최대 21단까지 입력할 수 있도록 하였으며 단 수가 12단 이상일 경우에는 12단부터의 굽힘각을 입력할 수 있는 Fig. 4와 비슷한 대화 상자가 다시 한번 더 나타나도록 하였다. 입력이 불필요한 란은 X표가 나타나고 비활성이 되도록 하였다.

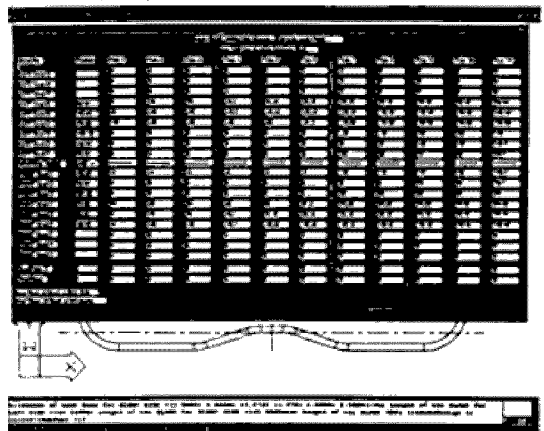


Fig. 4 The dialogue box to input the bend angles, start point and slope for each pass

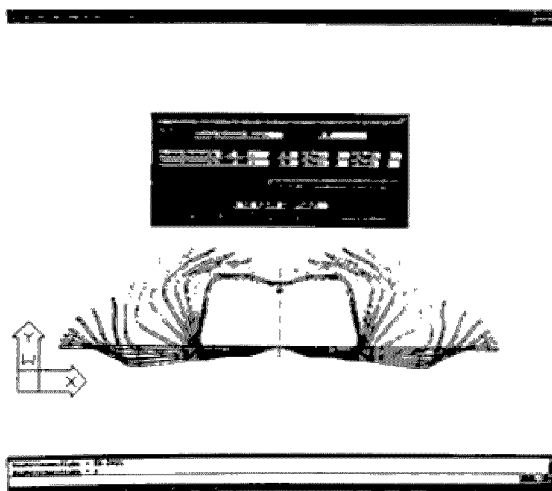


Fig. 5 The flower designed

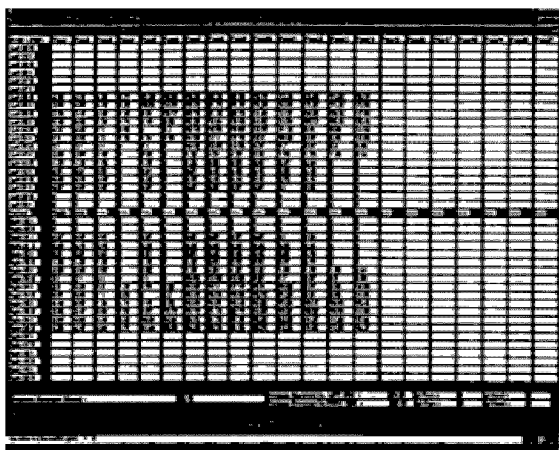


Fig. 6 The dialogue box showing the lengths of movements in cross-section between the successive stations

Fig. 5는 설계된 플라워를 보여주는 모습으로 쉽게 구별할 수 있도록 각 단을 각기 다른 색으로 그리도록 하였다. 대화 상자에서는 각 단 사이에서 단면상에서 이동하는 거리의 허용치와 어느 단의 어느 굽힘부에 속하는 점의 이동거리가 최대치를 가지며 그 최대치는 얼마인지를 함께 보여주며, 각 단 사이에서의 이동거리 모두를 자세히 보기 원할 경우에는 Fig. 6과 같이 표시된다.

이렇게 작성된 플라워를 검토하여 만족스러우면 결과를 저장하고 롤 설계에 들어가며, 만족스럽지 않으면 이 플라워가 지워지면서 Fig. 3과 같은 상태로 되돌아 가서 다시 플라워를 설계할 수 있도록 하였다.

이 프로그램을 이용하여 본 연구에서 예로 택한 제품의 플라워를 설계함으로써 플라워 설계 시간 및 노력을 대폭 줄일 수 있었고, 설계된 플라워를 이용하여 롤 설계를 손쉽게 하였으며 제작된 롤에서 시험 생산된 제품은 결함이 없이 양호하였다.

2.2 단면상에서의 이동 거리 계산

롤 성형기의 각 단 사이의 거리를 l , 소재의 길이 방향의 인장 변형도의 허용치를 e 라고 하면 각 단 사이에서 소재가 길이방향에 수직인 단면상에서 이동할 수 있는 거리 m 은 다음의 조건을 만족하여야 한다고 볼 수 있다⁵⁾.

$$m \leq l\sqrt{2e+e^2} \quad (1)$$

예를 들면 Fig. 1에서의 A에서 N까지의 점들 및 A'에서 N'까지의 점들과 바로 직전 단에서 이들에 대응하는 점들 사이의 단면상에서의 이동 거리들은 각각 식(1)을 만족하여야만 길이방향의 과도한 인장에 의한 결함이 발생하지 않는다고 볼 수 있다.

2.3 중립점의 위치 결정

소재가 아주 얇고 굽힘 반경이 크며 굽힘각이 작을 경우에는 보통 중립점의 위치는 소재 두께 방향의 중간이라고 볼 수 있지만, 소재의 두께에 비하여 굽힘반경이 작을 경우에는 굽힘부의 내측면 쪽으로 이동한다. 소재의 두께를 T , 내측 굽힘 반경을 R_i , 굽힘부의 내측면으로부터 중립점까지의 거리를 소재 두께로 나눈 값을 λ 라 하면 다음과 같은 식⁶⁾으로 각 굽힘부에서의 중립점의 위치를 각각 계산할 수 있도록 하였다.

$$\frac{R_i}{T} \leq 1.0, \quad \lambda = 0.04 \frac{R_i}{T} + 0.3$$

$$\frac{R_i}{T} > 1.0, \lambda = 0.06 \left(\frac{R_i}{T} - 1.0 \right) + 0.34 \leq 0.45 \quad (2)$$

각 굽힘부를 성형하는 방법에는 여러 방법이 있으나, 본 연구에서는 굽힘부 전체를 굽힘 반경을 점차로 줄이면서 굽힘각을 키워나가는 성형방법을 택하였다. 각 굽힘부의 굽힘각이 입력되면 이에 대응하는 최종 제품의 각 굽힘부에서의 편평한 소재의 길이로부터 각 굽힘부의 굽힘 반경을 계산하였다. 중립점의 위치를 소재 두께의 한 가운데로 하지 않을 경우($\lambda \neq 0.5$)에는 굽힘 반경의 초기값을 아주 큰 값으로 정하고 식(2)를 이용하여 계산된 중립점의 위치를 이용하여 다시 굽힘 반경 및 중립점의 위치를 계산하여 중립점의 위치가 수렴할 때까지 반복계산(iteration)을 하도록 하였다.

2.4 최종 제품의 단면 형상을 그리는 방법

Fig. 1과 같은 최종 제품의 단면 형상을 그리는 방법은 다음과 같다. 수직 가이드 라인의 좌측부분을 그리기 위하여 먼저 점 A'(또는 점 A)의 좌표값과 직선 A'B'의 기울기(직선 AB의 기울기에 180°를 더한 값) 및 직선 A'B'의 길이를 가지고 점 A'에서 점 B'까지의 직선부를 그린다. 다음으로 점 A'(또는 점 A)로부터 직선 AB의 기울기에 90°를 더한 방향으로 소재의 두께만큼 떨어진 점 a'의 좌표값을 구한다. 직선 a'b'는 직선 A'B'에 평행하고 길이도 직선 A'B'의 길이와 같으므로 점 a'에서 점 b'까지의 직선부를 쉽게 그릴 수 있다.

굽힘각이 양인 굽힘부 B'C'는 내측 굽힘 반경이 호 B'C'의 반경이 되고 이 호의 중심은 점 B'로부터 직선 A'B'의 기울기에 90°를 더한 방향으로 이 호의 반경만큼 떨어진 점이다. 이 호의 중심으로부터 점 C'방향의 기울기는 호의 중심으로부터 점 B'방향의 기울기에 굽힘각을 더한 값이 된다. 호 b'c'의 반경은 내측 굽힘 반경에 소재의 두께를 더한 값이 된다. 이들을 이용하여 호 B'C'와 호 b'c'를 그린다. 직선부 C'D'와 c'd'의

기울기는 직선 A'B'의 기울기에 굽힘부 B'C'의 굽힘각을 더한 값이 되고 점 C'와 c'의 좌표값과 이 직선부의 길이를 알고 있으므로 이 부분을 쉽게 그릴 수 있다.

다음으로 굽힘각이 음인 굽힘부 D'E'의 경우 내측 굽힘 반경에 소재의 두께를 더한 값이 호 D'E'의 반경이 되고 이 호의 중심은 점 D'로부터 직선 C'D'의 기울기에 90°를 뺀 방향으로 이 호의 반경만큼 떨어진 점이다. 이 호의 중심으로부터 점 E'방향의 기울기는 호의 중심으로부터 점 D'방향의 기울기에 굽힘각의 절대값을 뺀 값 즉 대수적으로 더한 값이 된다. 내측 굽힘 반경이 호 d'e'의 반경이 된다. 이들을 이용하여 호 D'E'와 호 d'e'를 그릴 수 있고 좌측 부분의 나머지도 같은 방법으로 그려갈 수 있다.

비슷한 방법으로 수직 가이드 라인의 우측부분을 그려나갈 수 있다. 먼저 Fig. 1에서의 점 A의 좌표값과 직선 AB의 기울기 및 직선 AB의 길이를 가지고 점 A에서 점 B까지의 직선부를 그린다. 점 a는 점 A로부터 직선 AB의 기울기에 90°를 더한 방향으로 소재의 두께만큼 떨어진 점이다. 직선 ab는 직선 AB에 평행하고 길이도 직선 AB의 길이와 같으므로 점 a에서 점 b까지의 직선부를 쉽게 그릴 수 있다.

굽힘각이 음인 굽힘부 BC의 경우 내측 굽힘 반경이 호 BC의 반경이 되고 이 호의 중심은 점 B로부터 직선 AB방향의 기울기에 90°를 뺀 방향으로 이 호의 반경만큼 떨어진 점이다. 호의 중심으로부터 점 C방향의 기울기는 호의 중심으로부터 점 B방향의 기울기에 굽힘각의 절대값을 뺀 값 즉 대수적으로 더한 값이 된다. 호 bc의 반경은 내측 굽힘 반경에 소재의 두께를 더한 값이 된다. 이들을 이용하여 호 BC와 호 bc를 그린다. 직선부 CD와 cd의 기울기는 직선 AB의 기울기에 굽힘부 BC의 굽힘각의 절대값을 뺀 값 즉 대수적으로 더한 값이 되고 점 C와 c의 좌표값과 이 직선부의 길이를 알고 있으므로 이 부분을 쉽게 그릴 수 있다.

다음으로 굽힘각이 양인 굽힘부 DE의 경우 내측 굽힘 반경에 소재의 두께를 더한 값이 호 DE

의 반경이 되고 이 호의 중심은 점 D로부터 직선 CD의 기울기에 90° 를 더한 방향으로 이 호의 반경만큼 떨어진 점이다. 호의 중심으로부터 점 E 방향의 기울기는 호의 중심으로부터 점 D방향의 기울기에 굽힘각을 더한 값이 된다. 내측 굽힘 반경이 호 de의 반경이 된다. 이들을 이용하여 호 DE와 호 de를 그릴 수 있고 나머지 부분도 같은 방법으로 그려갈 수 있다.

2.5 각 단에서의 단면 형상을 그리는 방법

각 단에서의 단면 형상을 그려 나가는 방법은 최종 제품의 단면 형상을 그리는 방법과 동일하며, 최종 제품의 각 굽힘부에서의 편평한 소재의 길이와 각 단에서의 각 굽힘부의 굽힘각으로부터 각 굽힘부의 굽힘 반경을 계산하였다. 아직 굽히지 않는 굽힘부 즉 굽힘각이 0인 굽힘부는 이 굽힘부에 대응하는 편평한 소재의 길이를 갖는 직선부로 그려진다. 각 단에서의 단면 형상을 그려 나가면서 구한 각 단에서 Fig. 1의 점 A에서 N 및 A'에서 N'에 대응하는 점들의 위치들로부터 바로 직전 단에서 각 단으로 성형되면서 이 점들이 길이 방향에 수직인 단면상에서 이동하는 거리를 계산하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 롤 성형 공정에 의해 제작될 제품의 단면 형상, 소재의 두께 및 각 단에서의 각 굽힘부의 굽힘각을 대화 상자를 통하여 입력하면 성형품의 가장자리 부분이 과도한 인장을 받아 결함이 발생할 수 있는 경우를 예측할 수 있으면서 자동적으로 플라워가 생성되는 대화식 AutoLISP 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램을 산업체에서 이용하면 여러가지 단면 형상을 가진 제품의 플라워 작성에 필요한 노력과 시간을 대폭 줄일 수 있고 정확성도 높일 수 있어서 제품 개발에 필요한 경비와 시간을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

최근에 수요가 늘고 있는 자동차 및 항공기용

부품은 경량화하기 위하여 고강도의 소재를 사용해야 하므로 성형이 어렵고 스프링백(springback)이 많이 생기므로, 설계된 플라워에 대하여 현재 일부에서 시도되고 있는 PAM-STAMP나 DYNA3D 등의 상용 유한요소해석 프로그램으로 공정을 시뮬레이션해 보면 여러가지 단면 형상의 제품을 직접 물을 가공하여 롤 성형기에서 제품을 시험적으로 제작해 보고 시행착오를 거치면서 물을 수정하는 단계를 생략할 수 있어서 빠른 시간 내에 제품을 경제적으로 개발할 수 있으므로 이들 유한요소해석 프로그램의 입력 자료가 생성되는 부분을 추가할 필요가 있다.

또 각 소재의 굽힘부에서의 중립점의 위치, 스프링백 양에 대한 자료 및 각 단면 형상에 대한 플라워 설계시의 실제적인 기술 등을 체계적으로 정리하여 자료화하는 연구와 작성된 플라워를 이용하여 롤 설계를 할 경우에 설계 시간과 노력을 줄일 수 있도록 롤 설계 작업에서의 반복적이고 기계적인 작업을 처리할 수 있도록 보완하는 추가적인 작업이 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) P. Sturuss and R. Heinx, "Apparatus for Roll-Forming an Automotive Bumper", U.S. Patent 5104026, 1992
- 2) X. Wang, J. Shi and T. Chen, "Development of Expert System of Roll Form Design", Proc. 5th Int. Conf. on Tech. Plast., Columbus, Vol. 1, pp. 519~522, 1996
- 3) M. Kiuchi, "CAD System for Cold Roll-Forming", Annals of the CIRP, Vol. 38, pp. 283~286, 1989
- 4) M. Brunet and S. Ronel, "Finite Element Analysis of Roll-Forming of Thin Sheet Metal", J. Mater. Technol., Vol. 45, pp. 225~260, 1994
- 5) G. T. Halmos, "High-Production Roll Forming", Society of Manufacturing Engineers, 1983

- 6) Society of Manufacturing Engineers, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook", 4th ed., Vol. 2, Chapter 8, 1984
- 7) AutoCAD Manual("AutoLISP Reference", "Advanced Tools"), Autodesk, Inc, 1993