

3차원 Bending Machine 설계 및 개발에 관한 연구

이춘만(창원대 기계설계공학과), 임상현*(창원대 기계설계공학과 대학원), 김현진(창원대 기계설계공학과 대학원)

A Study on the Design and Development of Three Dimensional Bending Machine

C. M. Lee(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept. , Changwon National University), S. H. Lim(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept. , Changwon National University), H. J. Kim(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept. , Changwon National University)

ABSTRACT

This study is concerned about the design and development of three dimensional bending machine. The purpose of this study is design and development of three-dimensional bending machine by analysis of bending process and structural analysis simulation. The analysis is carried out by FEM simulation using DEFORM and CATIA V5 software. Based on this study, the three dimensional bending machine was developed. In order to evaluate a performance and reliability of the developed three dimensional bending machine, we used laser interferometer and three axial measuring system.

Key Words : Three-Dimensional Bending Machine (3차원 벤딩 머신), Copper-tube (동 튜브), FEM (유한요소해석), Performance and Reliability Evaluation(성능·신뢰성 평가)

1. 서론

3차원 벤딩 머신(Three Dimensional Bending Machine)은 오늘날 여러 산업분야에서 중요 배관 재료로 사용 되는 동관 및 비철금속관을 3차원으로 가공하는 관재가공기계이다. 현재, 국내 산업 현장의 배관 생산 시스템은 부분적으로 자동화 시스템이 도입되어 있지만 이것은 2차원 벤딩이 대부분이며 이로 인해 점점 다양한 형상을 갖춘 3차원 벤딩 부분에 있어서는 노동집약적인 방법에 의존하여 제품을 생산하고 있다. 이러한 방식으로 인해 각 공정마다 별도의 벤딩 머신과 그것을 운용하기 위한 작업자가 배치되어 단순, 반복 작업을 함으로서 공정 추가 및 불량품의 발생으로 인한 생산 단가가 상승하는 요인을 나타낸다. 이로 인해 전체적인 시스템이 자동화가 선행 되어야 하는 문제를 안고 있다. 오늘날 3차원 벤딩 머신은 이탈리아의 Pedrazzoli-ibp사, 미국의 BLM사 등에서 개발되어 국내에서 수입하여 생산 현장에 도입하고 있다. 하지만, 3차원 벤딩 머신이 매우 고가이므로 초기 투자의 비용이 높고 금형 기술

및 설계 기술의 미비로 인하여 개발에 많은 어려움이 있기에 이에 대한 연구가 시급한 실정이다.

지금 국내에서는 관재의 벤딩 가공에 대하여 정밀한 형상을 제작하거나 맨드릴을 사용하여 굽힘 성형가공을 하는 등 다양한 연구들이 이루어지고 있는 추세이다. 이러한 연구들을 토대로 본 연구에서는 DEFORM을 이용하여 성형 공정을 시뮬레이션 하였고, 이때 발생한 설계 변수들을 설계에 적용하였으며, 설계된 3차원 벤딩 머신의 모드해석 및 구조해석을 CATIA V5를 이용하여 실시하였다. 이러한 해석을 통하여 3차원 벤딩 머신을 설계하였고, 시제품의 개발을 하였으며 또한 그 성능 및 신뢰성 평가를 통해 개발되어진 벤딩 머신의 타당성을 검증하였다.

2. 성형공정 시뮬레이션

2.1 Preprocess

본 연구에서는 열교환기에 사용되어지는 동(Copper)으로 재료를 설정하고 해석을 수행하였다. 동은 열전도율이 높으며, 또한 강도와 가공특성이

우수하여 열교환기에 많이 적용되어지는 재료이다. 또한 열전달 표면적을 증가시키기 위해서 나선상 홈(Inner groove)으로 가공이 되어 있는데 홈이 0.03 mm 이하로 미세하기 때문에 평동관으로 설정하였다.

튜브의 외경은 12 mm 이고, 두께는 0.4 mm 이다. 또한 해석에 사용되어지는 Bending 반경은 20 mm 로 설정하였다. 또한 실제로 사용되는 재료의 응력 변형률 선도(Stress-strain curve)를 인장시험에서 구하고, DEFORM에 입력하였다. 또한 해석을 위해 몇 가지 사항을 가정하였다. 먼저 열전달과 열변형은 무시하였고, 소재 이외에는 모두 강체(Rigid body)로 간주하였으며, 다이와 소재사이의 마찰 상수는 냉간 성형이기 때문에 0.1로 하였다. 본 Machine이 요구하는 최대 Bending 속도는 1초에 180°를 가공하는 것이기 때문에 Primary 다이는 3.14 rad/s로 회전하고, 그리고 다이의 이송방향 벡터값은 (0,0,1)로 놓고 해석을 수행하였다.

2.2 Postprocess

DEFORM을 이용한 해석 결과는 다음 Fig. 1에서 보여 지는 바와 같이 얻을 수 있다.

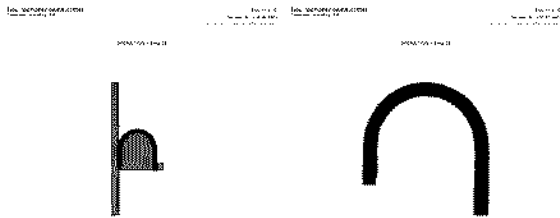


Fig. 1 Deformed shape of pipe (25 step)

Fig. 1에서 보는 바와 같이 소재의 형상 변화가 일어남을 알 수 있으며 이렇게 형상변화를 일으키고 있을 때 X축과 Y축에 대하여 소재에 가해지는 시간

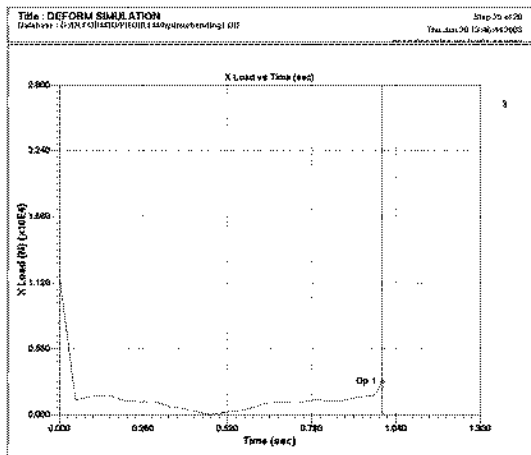


Fig. 2 Result of X-load in bending process

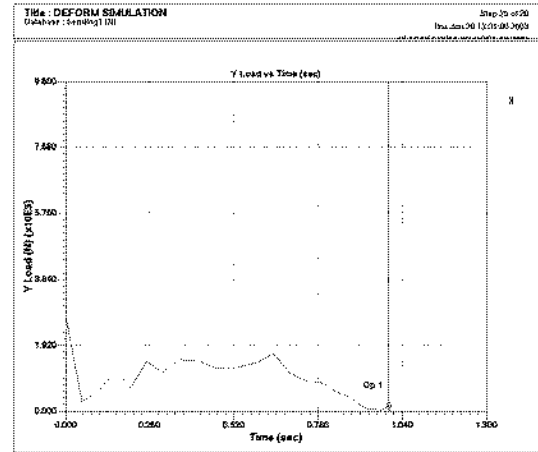


Fig. 3 Result of Y-load in bending process

에 따른 하중을 다음 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 또한 가공 중에 소재에 발생하는 Effective Stress를 가공 초기와 가공 말기로 구분하여 Fig. 4에 나타내었다. 이러한 해석을 통하여 얻어진 X축과 Y축에 가해지는 하중을 다음 Table 1에 정리하였다.

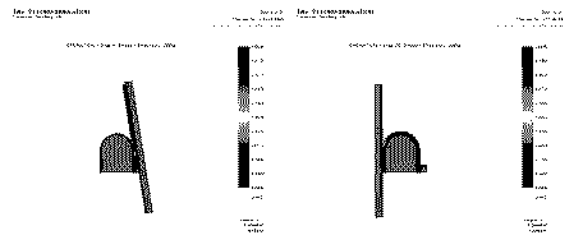


Fig. 4 Result of effective stress

Table 1 Result of forming analysis

Direction	Maximum Load (N)
X-axis	1.124×10^4
Y-axis	2.683×10^3

3. 구조해석

CATIA V5를 이용하여 3차원 벤딩 머신을 3차원으로 모델링하고 구조해석을 실시하였다. 그 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었으며 3차원 벤딩 머신 각부의 변위와 응력 및 안전율을 계산하여 설계조건외 충격여부를 검토하였고, 동적 모드 해석을 수행하여 공진영역과 채터 진동 주파수 대역을 조사하였다. 또한 최대한 실물에 근접하게 모델링을 실시하여 유한요소해석의 연산 에러를 줄이고자 노력하였다.

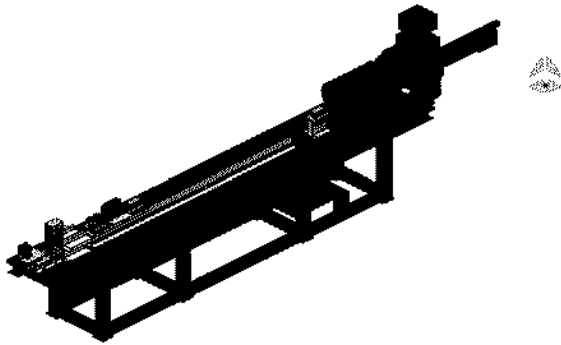


Fig. 5 Modeling of bending machine

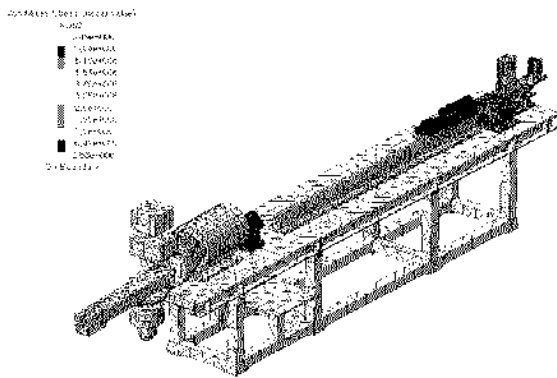


Fig. 6 Result of static stress for bending machine

결과에서 나타난 바와 같이 최대 처짐은 벤딩 유닛의 끝에서 나타났고 최대 응력은 회전 및 벤딩 유닛을 받치고 있는 Frame 부분에서 나타남을 알 수 있다. 이상으로부터 구해진 결과를 이용하여 안전율을 계산한 결과를 다음 Table 2에 정리하였다. 또한 고유진동에 대하여도 해석을 실시하였는데 그 결과 1차 모드에서는 Y축 방향으로 굽힘 모드가 발생하여 X축 방향으로 병진 운동함을 알 수 있고, 2차와 3차 모드에서는 벤딩 유닛 끝단이 X축 방향으로 굽힘 모

Table 2 Result of static analysis

Bending machine 끝단 길이[mm]	최대 변위 [mm]	최대 응력 [MPa]	안전율
3730	0.107	6.49	30.97

Table 3 Results of dynamic analysis

Mode number	Frequency [Hz]	Mode number	Frequency [Hz]
1	6.1479e+001	6	1.2676e+002
2	7.6257e+001	7	1.6405e+002
3	7.9358e+001	8	2.0363e+002
4	8.6449e+001	9	2.7892e+002
5	1.1528e+002	10	3.4948e+002

드가 발생하여서 Z축 방향으로 병진 운동하는 것을 알 수 있다. Table 3에 3차원 벤딩 유닛의 고유진동에 대한 결과를 정리하였다. 본 머신에서는 앞서 수행한 DEFORM의 해석결과를 토대로 2000 RPM의 서보모터를 설계에 적용하였다. 2000 RPM에서 발생하는 진동수를 구해보면 5.305 Hz 가 된다는 것을 알 수 있다. Table 3에서 벤딩 머신의 동적해석 결과로 볼 때 벤딩 머신에는 진동에 의한 변형은 고려치 않아도 됨을 알 수 있다.

4. 성능 및 신뢰성 평가

앞서 실행한 성형 공정 시뮬레이션과 구조해석 등을 토대로 3차원 벤딩 머신의 설계를 완료하고 제작한 시제품을 Fig. 7에 나타내었다.



Fig. 7 Prototype of three dimensional bending machine

Fig. 7에 보여진 3차원 벤딩 머신의 이송에 관한 성능 평가를 위해 본 연구에서는 Laser Interferometer를 이용하여 측정을 하였고, 측정하는 과정을 Fig. 8에 나타내었다. 3차원 벤딩 머신의 이송 부분을 Laser Interferometer로 측정한 결과는 Fig. 9와 Fig. 10에 나타낸바와 같다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 위치 정밀도는 0.2 mm 이내로 나타남을 알 수 있고 Fig. 10에 보여진 바와 같이 반복정밀도는 0.04 mm의 우수한

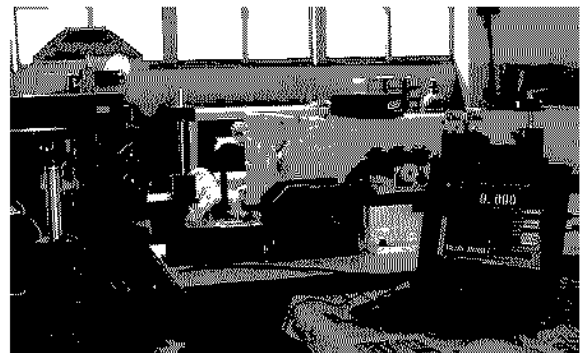


Fig. 8 Measurement for feed part of bending machine

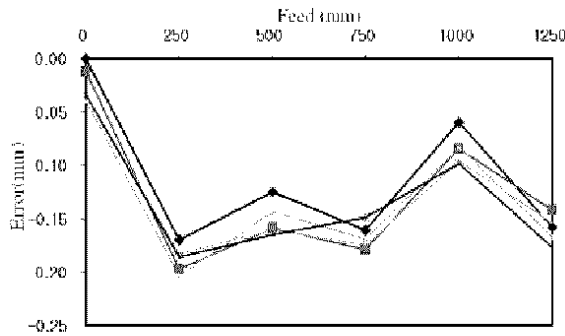


Fig. 9 Result of positioning accuracy

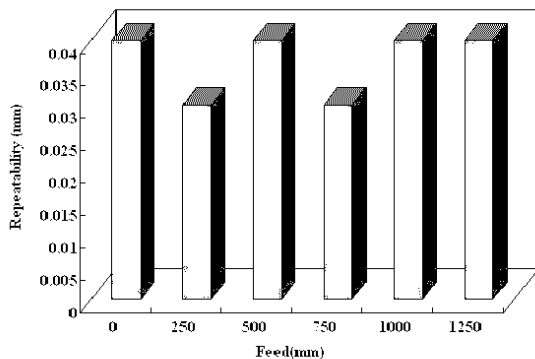


Fig. 10 Result of repeatability

정밀도를 나타내고 있다.

Fig. 11은 3차원 벤딩 머신의 이송 속도를 나타낸 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 평균 최고 속도는 750 mm/s의 결과를 나타내고 있다. 이는 현재 보유하고 있는 Laser Interferometer가 1000 mm/s 까지만 측정을 할 수 있는 관계로 이송률을 50%로 감소시켜 운행을 한 후 측정되어진 값을 제시한 것으로 최대 이송속도는 1500 mm/s를 얻을 수 있다고 판단된다.

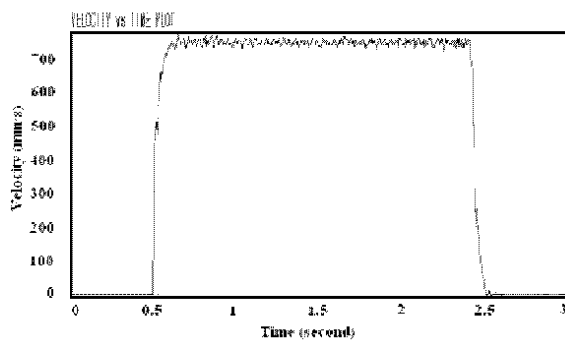


Fig. 11 Result of bending machine's feeding speed

5. 결론

본 연구에 의해 특히 에어컨 등 열 교환에 사용

되어지는 배관 자재를 3차원으로 벤딩 할 수 있는 3차원 벤딩 머신을 설계하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 상용 소성 변형 해석 Software인 DEFORM을 이용하여 성형공정 시뮬레이션을 실시하여 본 결과 최대 하중이 X축에는 1.124×10^4 N, Y축에는 2.683×10^3 N이 나타남을 알 수 있었다.

(2) CATIA V5를 이용한 구조해석의 실시로 각 구조물의 안전율을 검토할 수 있었고, 이로 인해 설계의 타당성을 검증할 수 있었다.

(3) 앞서 실시한 성형 공정 시뮬레이션과 3차원 벤딩 머신의 구조해석에 대한 자료를 바탕으로 시제품의 설계 및 제작을 완료하였고 그에 필요한 성능·신뢰성 평가를 통해 기계의 우수성을 입증할 수 있었다.

이상과 같은 결과를 통해 개발되어진 3차원 벤딩 머신으로 인해 인력난 해소 및 생산성 향상을 통한 원가 절감 및 품질 향상으로 그 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Y. S. Suh, Y. W. Kim, J. I. Kim, "A Study on the Control of Spring Back for the Precision Forming of the Steam Generator Helical Tube", Transactions of Materials Processing, Vol. 11, No. 3, pp. 238 ~ 245, 2002.
2. H. S. Kang, D. S. Kim, S. Hur, S. I. Hong, "A study about shape processing for the bend of the Copper-Tube that use Hair Pin Bending Machine", Proceedings of the KSPE Spring Annual meeting, pp. 1705 ~ 1708, 2003.
3. S. H. Lee, H. N. Lee, B. H. Jeon, S. I. Oh, "Preform Design in Tube by Using the Hydroforming", Proceedings of the KSTP Spring Annual meeting, pp. 39 ~ 44, 1999.
4. J. B. Yang, B. H. Jeon, and S. I. Oh, "Tube Bending Analysis for Hydro-forming Process", Transactions of Materials Processing, Vol. 9, No. 3, pp. 249 ~ 256, 2000.
5. 大澤 信之 "레이저 간섭 측정기에 의한 위치 결정 정밀도 실험", 월간기계기술, 3월호, pp. 69-73, 2001.