

고효율 배관용 정밀성형 벤딩머시인 개발

문상돈^{1*}

¹전북대학교 기계설계공학부

Development of Bending Machine with High Efficiency and Precision Forming

Sang-Don Mun^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University

요 약 연질 동관은 조선, 자동차, 플랜트, 냉동공조 기기 등에 많이 사용되는 대표적인 파이프 재료 중의 하나이다. 그러나 이러한 재료들은 벤딩가공시 외부의 주름, 스프링백, 관이 얇아지는 현상들이 자주 발생하여 문제가 된다. 본 논문에서는 연성재질을 벤딩시 맨드렐이 슬라이딩 가이드 레일을 따라서 파이프를 누르는 벤딩방식을 선택한 연성재질 전용 벤딩머시인을 제작하여 이와 같은 현상을 줄였다. 이의 성능을 확인하는 과정에서 재료로 사용한 동관의 직경이 작을수록 스프링백 현상은 증가하였고 또한 굽힘각도가 클수록 컷다. 또한 동관의 벤딩시 주름이 거의 발생하지 않는 성형품을 제작할 수 있었다.

Abstract Soft copper tube is one of the popular materials which are used for shipbuilding, automobiles, and freezing and HVAC equipment. However, these materials have problems that they cause occasionally outside wrinkle, spring back, wall thinning phenomena. In this study, to avoid these phenomena, was manufactured a mild materials devoted bending machine, which selected a bending method where the mandrel presses the pipe along with the sliding guide rail during bending process. During the course of confirming this performance, it was found that as the diameter of copper tube used for materials became smaller, the spring back phenomenon increased. And as the bending angle became larger, it became larger. In addition, we could manufacture mold products which scarcely generated wrinkle when bending copper tubes.

Key Words : Soft copper tube, Bending machining, Outside wrinkle, Bending angle, Spring back, Diameter of copper

1. 서론

플랜트, 가전, 항공, 자동차 산업 등의 발달로 파이프 관련 배관기술은 냉동기의 냉매, 플랜트의 작동유체, 운할유 등을 중심으로 중요성이 가속화 되고 있다. 특히 석유 등의 화학 관련 플랜트와 중공업 분야에서는 배관의 유동충격과 열적인 팽창 등을 완화할 목적으로 벤딩이 응용되고 있다. 냉동기, 열교환기, 보일러 등에 사용되는 파이프의 벤딩 결과는 플랜트 및 제품의 성능에 많은 영향을 끼친다[1-3].

냉동, 열교환기용 파이프들은 주로 동관, 알루미늄관 등의 연질 종류의 파이프들이 많다. 열교환기의 경우 순환 냉매와 외기와 열교환이 이루어지는 부품으로 주변에서 널리 사용되는 에어컨 핵심부품 중의 하나이다. 그리고 자동차 분야에서도 연료튜브 및 에어컨 설비의 제조 공정중 벤딩 공정은 파이프를 자동차에 장착하는데 중요한 역할을 하고 또한 벤딩 후 스프링백에 의한 형상 변화는 자동차에 소음이나 진동을 일으키는 원인의 하나이다.[4] 이들의 벤딩시의 문제점들은 연질 재료들이기 때문에 외부의 주름, 스프링 백, 관이 얇아지는 현상(wall

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2009년도 산학연공동기술개발사업(No.00042236-1)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

*교신저자 : 문상돈(msd@jbnu.ac.kr)

접수일 10년 11월 26일

수정일 10년 12월 22일

게재확정일 11년 01월 13일

thinning), 오벌리제이션(ovalization) 등이 자주 발생하여 이들을 정밀하게 제어하면서 벤딩 작업을 수행할 수 있는 정밀형 전용 연질 재료 벤딩머시인에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다[5-12].

소형 및 이동식 파이프 벤딩머시인은 국내의 몇몇 업체에서 제작을 하기도 하였으나, 동과 같은 연성재료의 벤딩머시인을 생산하는 업체는 거의 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 맨드릴이 마찰에 의하여 연질파이프가 벤딩되는 성형방식이 아닌 맨드릴이 슬라이딩 가이드 레일을 따라서 파이프를 누르는 벤딩 방식을 적용하여, 연질 재료가 가공중 응력이 분산되어 주름 현상이 없으면서 이동성이 뛰어난 연질파이프 전용 벤딩머시인을 개발하여 그 가능성을 확인하였다.

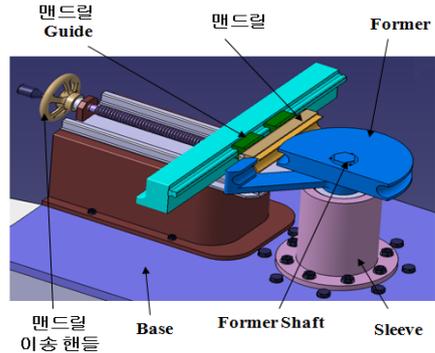
2. 실험장치 및 방법

2.1 연질파이프 전용 벤딩머시인의 가공원리

연질파이프 전용 벤딩머시인은 주로 강관을 중심으로 가공기가 개발되어 왔고 연질파이프는 강관의 벤딩머시인을 중심으로 그 기능에 보조적으로 각종 지그를 사용하여 연질파이프의 벤딩을 진행하여 왔다.

강관에 비하여 연질파이프는 재료의 특성상 맨드릴이 고정된 경우, 맨드릴과 재료가 마찰에 의하여 성형되므로 마찰로 인한 제품의 불량률이 자주 발생한다. 연질파이프 전용 벤딩머시인은 그림 1과 같이 포머의 회전시 맨드릴이 직선운동을 행하도록 설계하여 성형부에서 연질파이프와 성형부가 마찰이 발생하지 않아 재료의 변형을 최소화하는 장점을 지니고 있다. 이러한 원리를 적용하여 제작한 것이 그림 2의 연질파이프 전용 벤딩머시인이다. 연질파이프 전용 벤딩머시인의 주요한 부분은 그림 3과 같다. 그림 3 (a)는 제어 명령 입력부이다. 입력부를 통하여 포머의 회전수, 벤딩각도, 회전방향 등을 입력할 수 있다. (a)와 같이 입력부에 벤딩각도가 입력된 후 벤딩을 실시하면 (b)-(d)와 같이 포머(former)부분에 모터의 동력이 변속기를 통하여 전달되고 이 힘에 의하여 파이프를 벤딩 시킨다. 벤딩가공 중 포머의 회전운동에 의하여 맨드릴 가이드 부분은 가이드레일과 일체를 이루고 있어 동관을 마찰시키면서 변형을 주는 방식이 아니고 누르면서 변형시키는 역할을 한다. 이러한 방식이 동관의 변형을 감소시키는 방식으로 정밀 벤딩이 가능하게 하는 주요 요인이다. 시중에는 벤딩가공 중 이와 같은 맨드릴 가이드 부분이 움직이지 않아서 맨드릴 부분과 파이프의 변형부분이 서로 마찰을 일으키며 변형 벤딩이 진행된다.

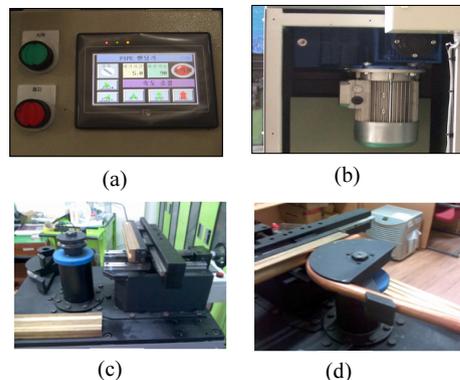
한편 위와 같은 맨드릴 가이드부는 포머부에 파이프를 장착하고 난 후 뒤쪽의 핸들을 돌려 포머와 가이드레일이 최대한 압착되도록 조절해 주어야 한다. 또한 포머부분의 가이드 홀더부분의 길이가 높아 3차원의 형상도 자유롭게 가공할 수 있는 장점을 지니고 있다. 따라서 벤딩의 압력이 곡관의 전후에 분포되어 응력집중의 효과가 줄어드는 장점의 고효율 벤딩머시인을 완성할 수 있다.



[그림 1] 연질파이프 전용 파이프 벤딩머시인의 가공원리 설명부



[그림 2] 완성된 연질파이프 전용 벤딩머시인 외관



[그림 3] 연질파이프 전용 벤딩머시인의 주요 형상 및 가공과정

2.2 가공재료 및 가공조건

동은 전기 및 열의 전도율이 좋고 내식성이 뛰어나며 전성, 연성이 풍부하여 판, 봉, 관 등으로 제조되어 열교환기, 급수관 등에 널리 사용되고 있는 재료이다. 동관은 이음매 없는 인성동관, 무산소동관, 인탈산동관이 있고 본 실험에서는 이음매 없는 인탈산 동관을 가공재료로 사용하였다. 재료의 기계적 성질 및 화학성분은 Table 1, 실험조건은 Table 2와 같다.

동관의 벤딩각도는 각각 20°, 30°, 45°, 60°, 70°, 90°, 120° 벤딩속도는 4 RPM, 가공물은 직경 9.5, 15.85, 28.55mm의 것을 사용하였다. 실험에서 파이프는 호칭치 수로 8A, 15A, 25A로 나타내지만 본 연구에서는 이들 직경의 실측치를 기준으로 하였다. 가공은 냉간가공(상온)을 실시 하였다.

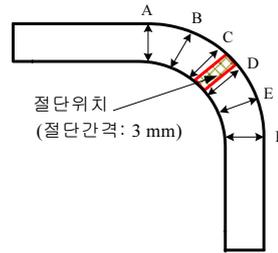
그림 4는 벤딩가공 후 동관의 직경 변화를 측정할 위치와 두께변화를 관찰하기 위하여 동관을 절단한 위치이다. 가공 후 직경의 변화를 관찰하기 위하여 각 구역을 A, B, C, D, E, F로 나누고 각 위치에서의 직경의 변화를 측정하였다. 그리고 가공 후 동관의 두께 변화를 살펴보기 위하여, 방전가공기를 이용하여 각 벤딩각도의 중심이 되는 곳을 중심으로 좌우 1.5mm씩 3mm를 절단하고 그림 5에서 표시하는 부위의 두께 변화를 공구현미경으로 관찰하면서 두께 변화량을 측정하였다. 절단된 시편편은 그림 4에서 땅에 닿는 부분이 우측 두께 부분이고 그 반대 부분이 좌측 두께 부분이다. 그리고 이들과 90° 방향으로 인장을 받는 부분이 위측 두께 부분이고 그 반대 부분이 아래측 두께 방향이다.

【표 1】 가공재료의 기계적 성질 및 화학적 성분

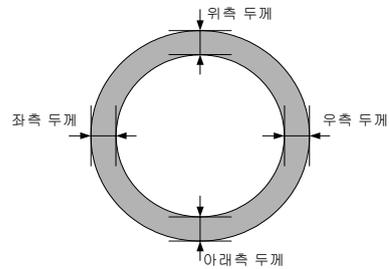
기계적 성질		화학적 성분				
인장강도 (N/mm ²)	경도 (HR30T)	Cu	Pb	Fe	P	Si
315	50.1	99.952	-	-	0.0226	-

【표 2】 실험조건

가공재료	Cu pipe
파이프실측직경 (mm)	9.5(8A), 15.85(15A), 28.55(25A)
벤딩각도 (°)	20, 30, 45, 60, 70, 90, 120
벤딩속도 (RPM)	4
가공조건	Dry, Cold working



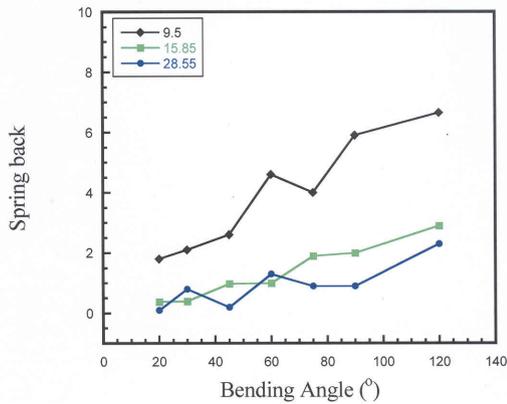
【그림 4】 벤딩 부위의 지정 위치 및 절단 위치



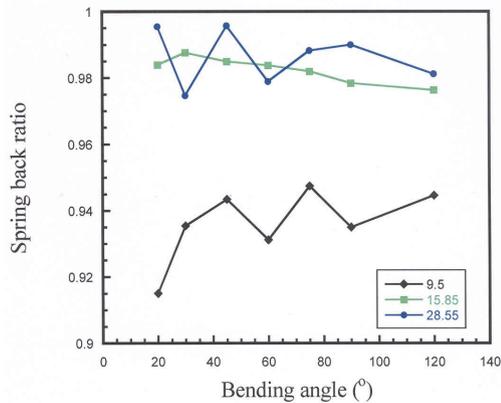
【그림 5】 벤딩 가공 후 가공물의 두께 측정 부위 (위측 인장 부위, 아래측 압축 부위)

3. 실험결과 및 고찰

연질파이프가 맨드릴의 슬라이딩 가이드 레일을 따라 파이프를 누르는 벤딩방식을 구현하는 연질파이프 전용 벤딩머신을 제작하고 먼저 파이프의 직경변화에 스프링백과 스프링백의 Ratio를 아래 그래프와 같이 나타내었다. 그림 6은 연질 동관 파이프의 직경이 각각 9.5, 15.85, 28.55mm인 경우의 직경변화에 따른 스프링백을 나타낸 것이다. 9.5mm의 경우 대체적으로 스프링백 현상은 벤딩각도의 증가에 따라 증가하는 현상을 보였다. 이와 같은 경향은 15.85mm나 28.55mm인 경우도 동일하였다. 또한 직경의 변화에서 직경이 9.5mm인 경우의 스프링백량이 다른 15.85, 28.55mm인 경우보다 전체적으로 증가하고 있었다. 즉 스프링백 경향은 직경이 작을수록 증가함을 알 수 있었다. 이와 같은 경향에 대한 스프링백 Ratio를 나타낸 것이 그림 7이다. 스프링백 Ratio는 다이 해체 전의 각도를 θL 다이 해체 후의 각도를 θU 라 했을 때 $\theta L/\theta U$ 에 해당되고 직경이 28.55mm인 경우가 상대적으로 우수함을 알 수가 있었다. 직경이 가장 작은 9.5mm인 경우는 가장 많이 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

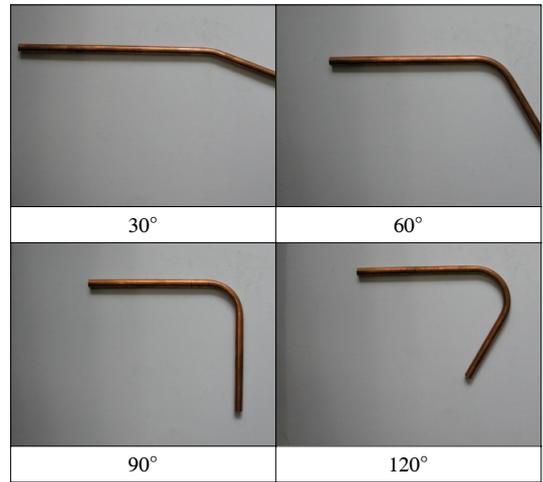


[그림 6] Cu 파이프의 직경변화에 따른 스프링 백과 벤딩 각도와와의 관계

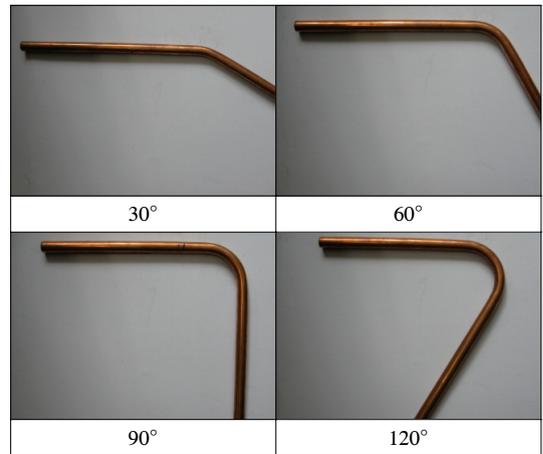


[그림 7] Cu 파이프의 직경변화에 따른 스프링 백 Ratio와 벤딩각도와와의 관계

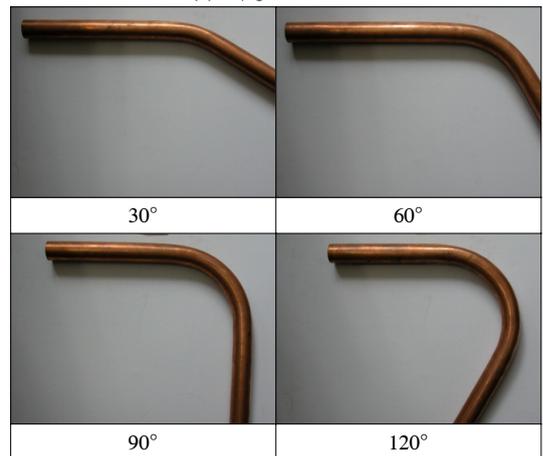
그림 8은 벤딩각도 변화에 따른 벤딩 후의 벤딩제품들의 형상을 사진으로 나타낸 것이다. 본 실험에서 벤딩작업은 서로의 다이부분이 마찰에 의하여 진행되는 것이 아니고 일종의 형다이인 맨드럴을 사용하여 파이프를 누름으로서 벤딩을 실현하는 방식이므로 연질파이프의 벤딩에서 주로 발생하는 주름이 본 가공기에서는 발생하지 않았다. 이로 인하여 파이프의 내면도 주름이 생기지 않으므로 이 벤딩 파이프 내면을 유체 등이 흐를 때 특히 주름으로 인한 유속의 저하가 생기지 않는 장점도 또한 지니고 있다. 그러므로 직경이 각각 9.5, 15.85, 28.55mm 파이프의 가공을 통하여 산업체에서 손쉬운 방법으로 주름이 자주 발생하지 않는 연질파이프를 벤딩할 수 있음을 판단할 수 있었다. 이는 냉동기 설비에서 사용하는 파이프들과 각종 열교환기에서 사용하는 생산공정에서 정밀벤딩으로 인한 에너지손실을 줄일수 있는 성능을 나타낼 수 있으므로 이 부분에 적용하는 많은 부분에서 이점이 있다고 판단된다.



(a) 직경 9.5 mm



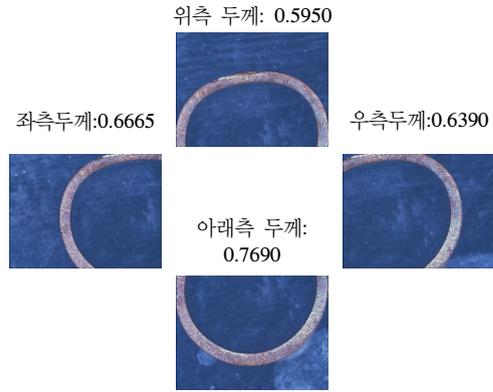
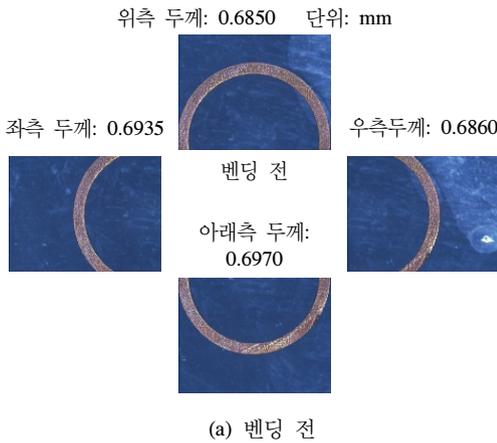
(b) 직경 15.85 mm



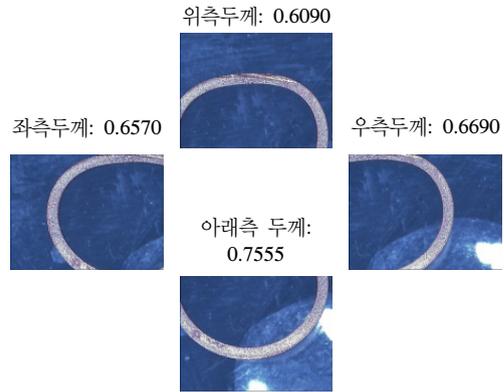
(c) 직경 28.55 mm

[그림 8] 각 직경에서 벤딩각도 변화에 따른 파이프 벤딩 후의 형상

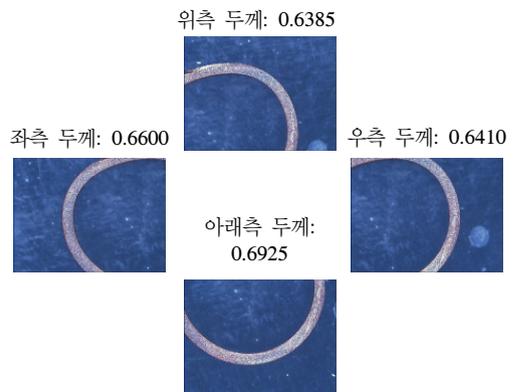
그림 9는 벤딩을 실시한 시험편의 단면 및 각 부분의 두께변화를 공구현미경을 사용하여 찍은 사진과 측정 데이터이다. 본 실험에서 공구현미경을 사용하여 단면의 형상을 관찰한 부위는 그림 4, 그림 5의 부위이다. 위쪽 부분은 벤딩시 인장을 받는 바깥부분이다. 그리고 아래쪽 부분은 압축을 받는 안쪽부분이다. 직경이 각각 9.5, 15.85, 28.55mm인 경우의 파이프들을 각각 20°부터 120°까지 가공 후 단면의 형상이 변하지 않도록 단면의 절단은 방전가공기를 사용하였다. 사진을 살펴보면 전과정에서 벤딩시 파이프의 바깥부분의 두께가 원재료보다 적은 현상을 보였다. 또한 안쪽부분에 해당되는 아래쪽 단면은 파이프의 직경의 변화 및 가공각도에 상관없이 단면의 형상은 증가함을 알 수가 있었다. 즉 벤딩각도가 60°(파이프 두께 9.5mm)인 경우 가공 후 좌우 두께의 평균값은 0.65275mm 이지만 아래쪽은 0.7690mm, 위쪽은 0.5950mm이고 본문에 사진을 삽입하지는 않았지만 15.85인 경우 가공 전 평균 두께는 0.949mm이고 아래쪽은 1.0020mm, 위쪽은 0.8095mm이며, 그림 10과 같이 28.55mm인 경우에는 가공 전 평균 두께는 1.2935mm, 아래쪽은 1.3355mm, 위쪽은 1.2895mm였다. 이와 같은 이유는 벤딩으로 인하여 바깥쪽은 인장을 안쪽은 압축을 받는 것이 주요한 원인이라고 생각된다.



(b) 벤딩각도 60°

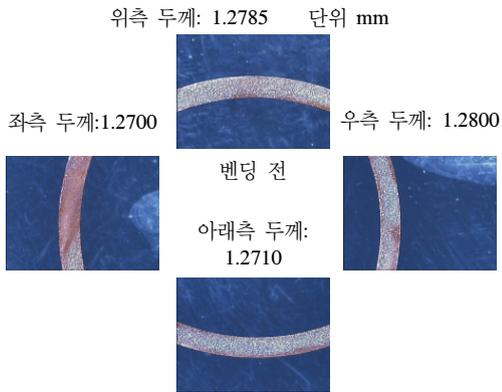


(c) 벤딩각도 90°

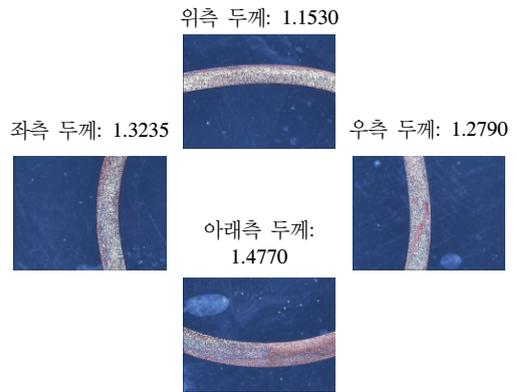


(d) 벤딩각도 120°

[그림 9] 파이프 직경이 9.5 mm인 경우의 가공부 두께 변화 (파이프직경 9.5 mm)

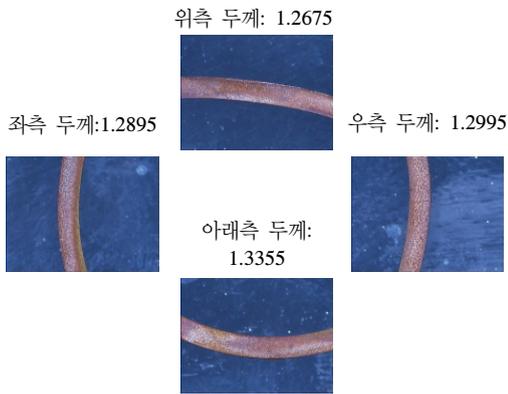


(a) 벤딩 전

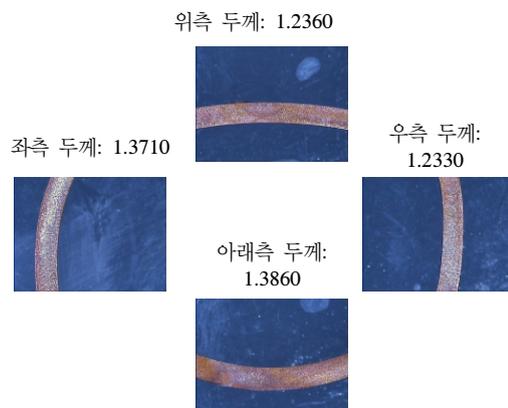


(d) 벤딩각도 120°

[그림 10] 파이프 직경이 28.55 mm인 경우의 가공부 두께 변화

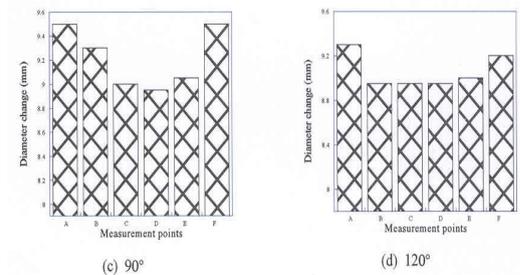
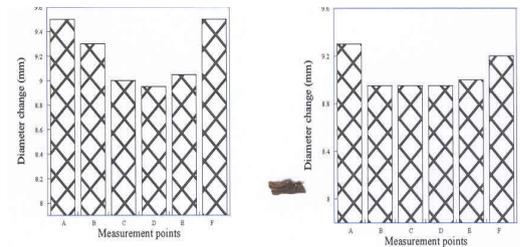


(b) 벤딩각도 60°

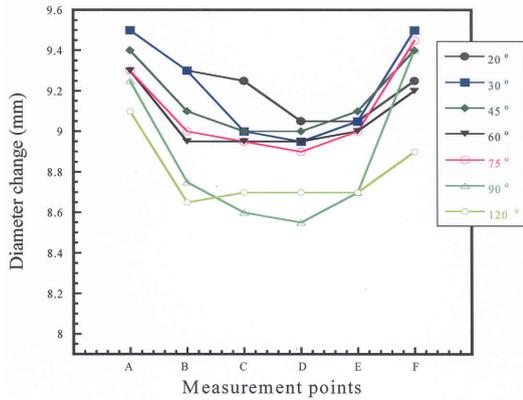


(c) 벤딩각도 90°

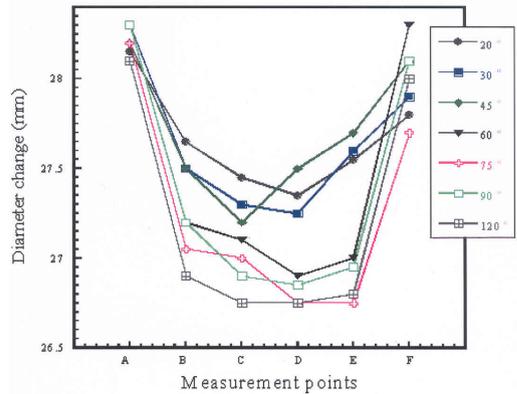
그림 11은 벤딩가공 후의 각 부위의 형상변화를 막대 그래프를 나타낸 것이다. A, B, C, D, E, F 구역의 위치에서 전체적으로 C 및 D의 위치는 A, F에 비하여 낮음을 확인할 수 있다. 이 C, D 부분은 A, F에 비하여 인장을 많이 받고 안쪽도 압축을 상대적으로 많이 받는 상황과 이로 인하여 중심이 안쪽으로 이동하는 관계에서 비교적 중심에 해당하는 부분, 즉 C, D의 위치의 직경이 상대적으로 작음을 확인할 수 있다. 위의 관계들을 그래프로 나타낸 것이 그림 12이다. 그리고 이들의 벤딩 후의 형상 변화된 단면을 보이는 것이 그림 13이다. 벤딩각도의 증가에 따라 대체적으로 직경이 작아지는 현상을 확인할 수 있다.



[그림 11] 벤딩 위치에 따른 직경의 변화 (9.5 mm)



[그림 12] 전체적인 파이프의 직경변화와 측정요소의 상관관계 (9.5 mm)



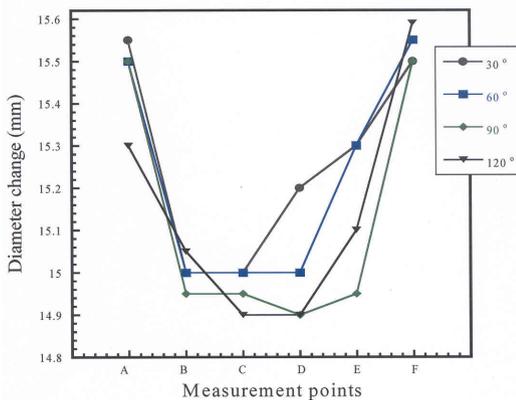
[그림 15] 전체적인 파이프의 직경변화와 측정요소의 상관관계 (28.55 mm)



[그림 13] 각도에 따른 파이프 벤딩 후 절단면 사진 (9.5 mm)

아래측 두께: 1.4770 위측 두께: 1.1530 좌측 두께: 1.3235 우측 두께: 1.2790 세로 직경: 23.8940 가로 직경: 25.9855	아래측 두께: 1.6382 위측 두께: 1.2221 좌측 두께: 1.3921 우측 두께: 1.4380 세로 직경: 22.5940 가로 직경: 26.5731 단위: mm
(a) 정밀성형 벤딩지그 사용 제품	(b) 일반 벤딩 제품

[그림 16] 고효율 배관용 정밀성형 벤딩 제품과 일반 벤딩 제품 비교 (벤딩각도 120°, 파이프 두께 28.55 mm)



[그림 14] 전체적인 파이프의 직경변화와 측정요소의 상관관계 (15.85 mm)

그래프에서 작은 각도보다 90°, 120°의 큰 각도의 직경이 작아지는 현상이 더 뚜렷함을 관찰할 수 있다. 이와 같은 경향은 직경이 15.85mm인 경우인 그림 14와 28.55mm 경우인 그림 15에서도 거의 동일한 경우였다. 그림 15의 28.55mm인 경우에도 75°인 경우는 약간 중간 조건에 해당하나 각도가 작은 20°-60°인 조건보다 90°, 120°의 조건이 C, D구간에서 대체적으로 더 작아지는 현상이 뚜렷함을 확인 할 수 있다

그림 16은 맨드릴과 파이프가 마찰에 의하여 성형된 제품과 정밀성형 벤딩 지그를 사용하여 성형된 제품을 비교한 것이다. 정밀성형 벤딩 지그를 사용한 제품에 비

하여 맨드릴이 마찰에 의하여 벤딩된 제품은 주름이 안쪽에 성장(b) 되어 있지만 본 제품은 가공특성상 주름이 생성되지 않았음(a)을 살펴볼 수 있다. 그리고 (a)는 굽힘반경의 변화가 (b)보다 작음을 알 수 있다. 이와 같은 효과는 벤딩가공시 포머의 회전 중에 맨드릴이 파이프를 따라 슬라이딩 운동을 해주면서 눌러주므로 변형이 작아 상대적으로 굽힘반경의 변화가 작음을 확인할 수 있다.

4. 결론

동파이프와 같은 연성재료의 벤딩 가공시 슬라이딩 가이드 레일형 벤딩 메커니즘을 적용하여 제작한 고성능 벤딩머시인의 성능을 확인하고 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 동관의 직경이 작을수록, 굽힘각도가 클수록 스프링백 현상은 증가하는 경향이 있었다.
2. 벤딩한 재료의 단면 검사에서 압축을 받는 상황과 이로 인하여 중심이 안쪽으로 이동하는 관계에서 A, B, C, D, E, F 위치의 가운데에 해당되는 C, D 위치의 직경이 상대적으로 작음을 확인할 수 있었다.
3. 동일한 직경의 재료에서 벤딩각도의 증가에 따라 대체적으로 직경이 작아지는 현상을 확인할 수 있었다.
4. 본 가공기에서 맨드릴 가이드의 누름방식으로 제작된 벤딩 제품에는 주름이 발생하지 않는 장점을 지니고 있었다.

참고문헌

[1] Hu Z., "Elasto-plastic solutions for spring-back angle of pipe bending using local induction heating", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 102, pp. 103-108, 2000.

[2] Al-Qureshi, H. A. and Russo, A., "Spring-back and residual stresses in bending of thin-walled aluminium tubes", Materials and Design, Vol 3, pp. 217-222, 2002.

[3] Al-Qureshi, H. A., "Elastic-plastic analysis of tube bending, International Journal of Machine Tools & Manufacture", Vol. 39, pp. 87-104, 1999.

[4] Kim, Y. W., Kong, S. I. and Nam, J. Y., "Measurement of springback ratio using a bend rig", Spring conference on KSMTE, pp. 410-415, 2002.

[5] An, J. H., Ko, D. C., Lee, C. J. and Kim, B. M.,

"Springback prediction in bending process based on DOE and ANN", Spring conference on KSME, pp. 171-176, 2008.

[6] Song, J. H., Huh, H., Kim, S. H. and Park, S. H., "Springback reduction in stamping of front side member with a response surface method", Fall conference on KSAE, pp. 1812-1817, 2005.

[7] Kim, H. J. and Lee, C. M., "A Study on the bending process for precision pipe forming", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol 24, No. 6, pp. 58-65, 2007.

[8] Moon, C. Y., Park, J. S. and Jeong, Y. D., 2003, "Spring back on the compound bending of the plastic fuel tube for automobile", The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 51-55, 2003.

[9] Jeon, T. B. and Kim, H. J., "Optimization of high strength steel springback for autobody through parametric analysis", The Korean Society for Quality Management, Vol. 36, No. 4, pp. 29-36, 2008.

[10] Jung, W. K., Ahn, S. H. and Won, M. S., "Prediction of spring-back for GFR/CFR unsymmetric hybrid composites", Spring conference on KSCM, pp. 158-161, 2005.

[11] Lho, T. J. and Lee, W. J., "Implementation of CAM Program for 6-Axis CNC Pipe Coaster", Journal of the Korean Academic Industrial Society, Vol 10, No. 9, pp. 2202-2209, 2009.

[12] Lee, Y. C., Lee, J. S., Lee, H. J. and Ryu, J. H., "Deformation Analysis of Carrier Pipe for Cold Shrinkable Joint", Journal of the Korean Academic Industrial Society, Vol 11, No. 1, pp. 314-319, 2010.

문 상 돈(Sang-Don Mun)

[정회원]



- 1992년 2월 : 전북대학교 전북대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 전북대학교 일반대학원 정밀기계공학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 전북대학교 일반대학원 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계설계공학부 교수

<관심분야>

자기연마가공, 특수가공, 기계가공