

한가지 형태의 관의 구부림과정에 대한 수치해석

리성혁, 리영섭

우리는 한가지 형태의 관구부림공정을 컴퓨터모의와 실험을 통하여 확립하기 위한 연구를 진행하였다.

선행연구[2, 3]에서는 얇은 원통관의 순수구부림과 유도가열에 의한 구부림과정을 컴퓨터모의계산을 통하여 고찰하고 소성변형을 평가하였으며 선행연구[4, 5]에서는 관구부림과정에 소성변형과 소성기구해석을 진행하였다.

론문에서는 한가지 형태의 4각형관을 구부릴수 있는 지구를 제작하고 모의계산을 통하여 응력과 변형, 자름면의 변화상태를 평가하였다.

1. 관의 구부림공정

그림 1에 새로 설계제작한 관구부림장치를 보여주었다. 장치는 받침판, 회전구부림형, 로라, 고정축, 지레대, 제한턱, 구부림형설치틀들로 되어있다.

이 장치의 특징은 첫째로, 감아구부림장치와는 달리 구부림형이 고정인것이 아니라 회전할수 있게 되어있어 관소재를 회전구부림형과 로라사이에 끼우고 돌리면서 미끄럼마찰이 없이 관을 구부릴수 있게 한것이다.

둘째로, 회전구부림형을 밀판, 옷판, 보조고리 등 조립식으로 만들어 관소재의 두 옆면을 옷판의 나사와 고정축나사를 통하여 압착할수 있게 하였고 관을 구부린 후 소재를 쉽게 해체할수 있게 한것이다.

셋째로, 두가지 너비의 관을 각이한 직경(60, 70, 80, 100mm)으로 구부릴수 있게 구부림형을 조립식으로 제작한것이다.

관의 구부림은 구부림형이 회전하지 않는 경우와 회전하는 경우로 나누어 다음과 같이 진행한다.

관소재설치: 소재설치는 지레대의 나사를 돌려 회전구부림형과 로라사이에 간격을 조성한 다음 소재를 밀어넣는 방법으로 진행한다. 옷판의 나사를 조여 소재가 회전구부림형에 꼭 끼워져 소재의 너비방향의 변형을 제한한다.

소재가열: 산소버너 혹은 다른 가열방법으로 구부리는 부분의 온도를 균일하게 150~260℃까지 올린다.

구부리기: 관소재를 10~20min동안 충분히 가열한 다음 적외선온도계로 소재의 결면 온도를 측정한다. 온도가 보장되면 지레대손잡이를 시계바늘회전방향으로 돌려 J 혹은 U

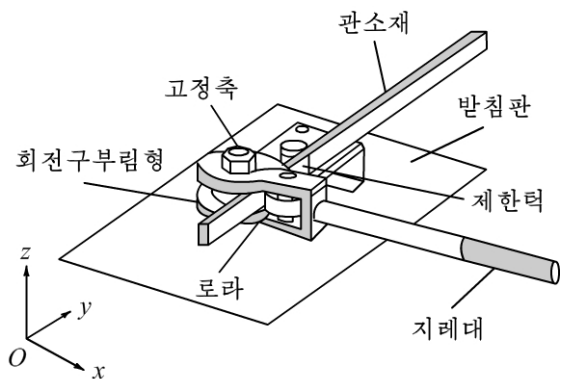


그림 1. 설계제작한 관구부림장치

형구부리기를 진행한다. 이때 고정축나사를 세게 조이면 구부림형이 회전하지 않으며 세게 조이지 않으면 구부림형이 회전한다.

소재의 분리: J, U형구부리기를 진행한 다음 회전구부림형의 옷고정축나사와 지레대나사를 풀고 소재를 회전구부림형과 같이 들어내고 특수한 지구로 회전구부림형의 옷판을 돌려 소재를 분리한다. 판이 복잡한 형태를 가지는 경우에 로라고정축과 회전구부림형의 옷판, 갈구리를 분리하고 소재를 들어낸다.

2. 판의 구부림과정에 대한 해석

판의 구부림과정에 대한 해석은 비선형해석프로그램(Marc Mentat 2013)을 가지고 진행하였다. 해석에 리용된 Al가-4의 재료특성은 다음과 같다.(표 1) 계산에서 재료는 토막선형경화하는 탄소성재료라고 보았다. 판재료의 특성으로부터 목이 생긴후 파괴될 때 즉 판재료가 받을수 있는 최대응력과 변형은 다음과 같이 표시된다.

$$\sigma_f = \sigma_b(1 + \psi_k)$$

$$e_f = -\ln(1 + \psi_k)$$

여기서 σ_b 는 세기한계이고 ψ_k 는 자름면수축률이다.

표 1. Al가-4의 역학적특성값[1]

온도 /°C	탄성계수 /GPa	빠쑈계수	류동한계 /MPa	세기한계 /MPa	연신률 /%	자름면 수축률/%	최대응력 / MPa	최대변형
20	70	0.31	30.0	80.0	35	80	144	1.64
150	70	0.31	25.0	54.0	65	83	98.8	1.77
200	66	0.31	21.0	42.0	70	86	78.12	1.97
260	62	0.31	14.0	25.0	85	89	47.3	2.21

계산에 리용된 판의 자름면형태를 그림 2에 보여주었다. 계산상편리를 위해 판자름면을 대칭으로 보고 모의계산을 진행하였으며 구부림지구의 회전구부림형과 로라는 강체라고 보았다. 판소재와 회전구부림형, 로라사이에 마찰계수 0.25의 접촉경계조건을 주었다.

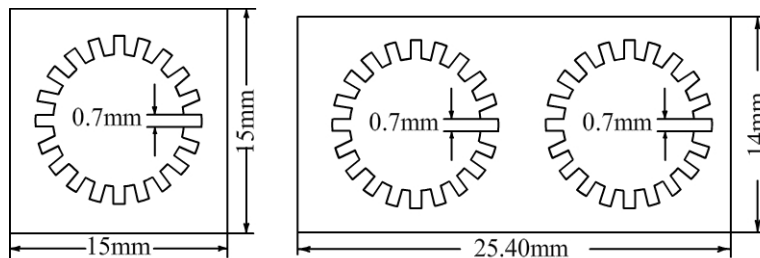


그림 2. 판의 자름면형태

랭간구부림의 경우에 변형된 판자름면에서의 응력분포와 소성변형분포를 그림 3에 보여주었다. 그림 3에서 볼수 있는바와 같이 변형된 판모양은 실측결과와 잘 일치한다.

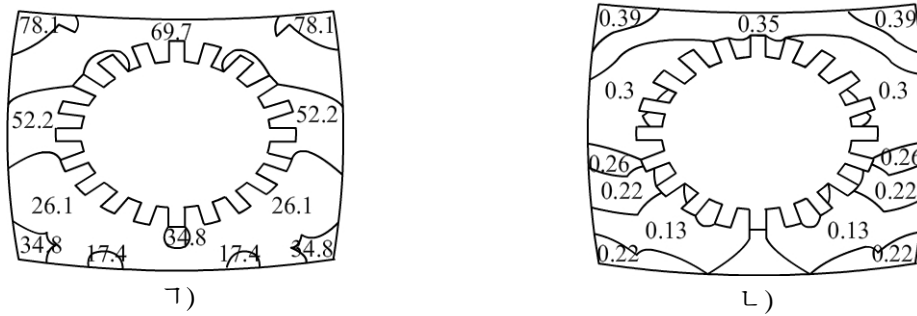


그림 3. 관자름면에서의 응력분포와 소성변형분포

ㄱ) 응력분포, ㄴ) 소성변형분포

표 2와 3에 모의계산을 통하여 얻은 각이한 온도조건에서 곡률반경에 따르는 최대 환산응력과 최대소성변형, 타원도와 벽두께변화율을 보여주었다.

표 2. 각이한 온도조건에서 곡률반경에 따르는 최대환산응력과 최대소성변형

종류		곡률반경		30mm		40mm		50mm	
		특성값	온도/°C	최대 환산응력 /MPa	최대소성 변형	최대 환산응력 /MPa	최대소성 변형	최대 환산응력 /MPa	최대소성 변형
1종관	25			87.07	0.442	82.97	0.389	77.78	0.337
	150			50.17	0.573	43.50	0.419	41.53	0.350
	200			39.05	0.605	33.78	0.424	32.38	0.354
	260			23.78	0.753	20.88	0.530	18.86	0.381
2종관	25			105.1	0.676	103.6	0.655	96.21	0.579
	150			57.04	0.760	54.53	0.710	52.56	0.656
	200			44.57	0.824	41.83	0.719	39.71	0.669
	260			25.03	0.888	23.77	0.755	23.22	0.753

표 3. 각이한 온도조건에서 곡률반경에 따르는 타원도와 벽두께변화율

종류		곡률반경		30mm		40mm		50mm	
		특성값	온도/°C	타원도 /%	벽두께 감소률/%	타원도 /%	벽두께 감소률/%	타원도 /%	벽두께 감소률/%
1종관	25			11.24	10.0	10.93	8.18	8.36	5.78
	150			12.57	15.55	9.89	8.27	8.83	5.33
	200			12.97	13.89	10.29	5.67	10.2	5.67
	260			11.87	19.0	10.05	10.0	10.04	11.56
2종관	25			18.96	14.21	15.82	6.14	15.27	0.93
	150			15.41	17.64	13.8	4.9	14.0	0.57
	200			14.76	14.29	12.5	6.93	12.86	2.64
	260			14.17	17.14	12.38	9.07	11.2	3.36

3. 결과 분석

표 2에서 알수 있는것처럼 랭간 및 열간구부림인 경우 환산응력은 온도에 따르는 재

료의 세기한계 80, 54, 42, 25MPa근방에 있으며 파괴응력상태 144, 98.8, 78.12, 47.3MPa에는 도달하지 않았다. 이것을 보면 랭간 및 열간구부림인 경우 주어진 판의 응력상태는 비교적 안전하다고 볼수 있다.

구부러진 상태에서 판의 바깥변두리의 환산응력과 소성변형이 제일 큰 값을 가지며 안쪽으로 들어오면서 점차 작아진다.

곡률반경의 증가에 따라 판에서 최대환산응력과 소성변형은 작아지며 90° 꺾인 부분에서 구멍의 찌그러짐이 심하지 않은데 이것은 실제 측정결과와도 일치한다.

가열온도의 증가에 따라 최대환산응력과 소성변형은 급격히 감소한다는것을 보여준다.

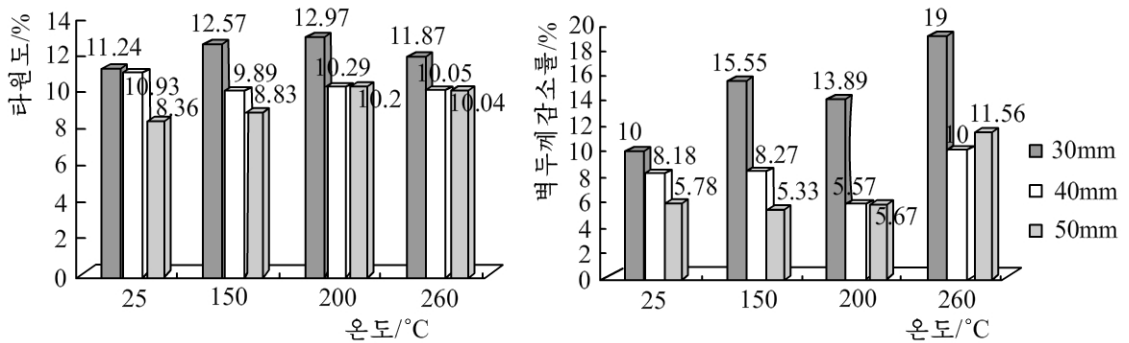


그림 4. 1종판의 온도와 곡률반경에 따르는 타원도와 벽두께변화률

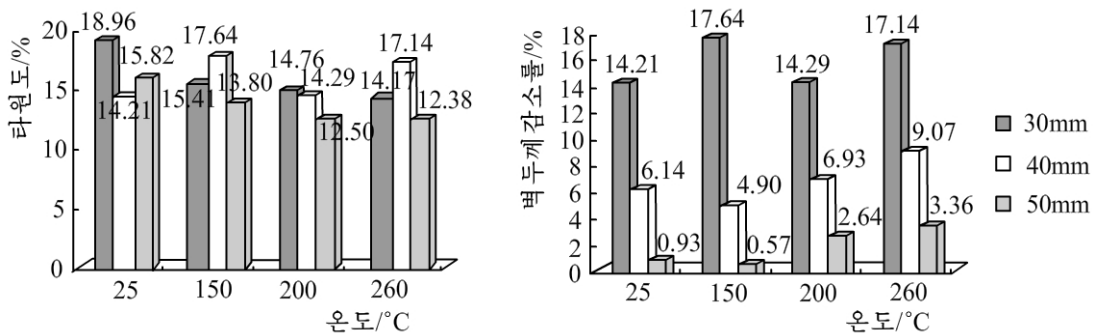


그림 5. 2종판의 온도와 곡률반경에 따르는 타원도와 벽두께변화률

1종판에서는 온도에 관계없이 곡률반경의 증가에 따라 타원도와 벽두께변화률이 작아진다는것을 보여주지만 2종판에서는 벽두께변화률은 작아지지만 타원도의 변화는 일정한 규칙성이 없다는것을 보여준다.(그림 4, 5)

최대환산응력과 소성변형의 견지에서는 가열온도를 증가시켜야 하지만 자름면의 기하학적변화가 적어야 하는 열판의 구부림이라는 측면에서는 타원도와 벽두께변화률을 감소시켜야 하므로 랭간구부림이나 150°C를 넘지 않는 가열온도에서의 구부리기가 합리적이라는 결론이 얻어진다.

맺 는 말

- 1) 한가지 형태의 판구부림지구를 제작하고 구부림공정을 확립하였다.
- 2) 범용해석프로그램 Marc Mentat에 의한 모의계산을 통하여 판의 곡률반경과

온도의 변화에 따르는 응력과 변형, 타원도와 벽두께변화률의 변화를 논의하였다.

참 고 문 헌

- [1] 최남섭 등; 유색금속총서 공업종합출판사, 8, 241, 주체89(2000).
- [2] M. Goodarzi; Journal of Materials Processing Technology, 162, 492, 2005.
- [3] Z. Hu et al.; Journal of Materials Processing Technology, 91, 75, 1999.
- [4] N. C. Tang; International Journal of Pressure Vessels and Piping, 77, 751, 2000.
- [5] M. Elchalakani et al.; International Journal of Mechanical Sciences, 44, 1117, 2002.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

A Type of Numerical Simulating on the Pipe Bending Process

Ri Song Hyok, Ri Yong Sop

In this paper, we introduce a new jig to bend a rectangular pipe and propose a new bending process based on the numerical simulation analysis using the Marc Mentat. And then, we discuss stress, strain, ellipticity of 90°-turned cross-section and wall thickness variation incident to the bending radiation and the temperature.

Key words: bending, rectangular pipe