

PA12 튜브의 스프링 백에 관한 연구

김대식*(부경대 대학원 정밀기계공학과), 문찬용(부경대 대학원 정밀기계공학과),
 김상우(부경대 대학원 냉동공학과), 최형태(부국산업) 정영득(부경대 기계공학부),
 김영수(부경대 기계공학부)

A Study in the PA12 Tube Spring-back

D. S. Kim(Mech. Eng. Dept., PKNU), C. Y. Moon(Mech. Eng. Dept., PKNU),
 S. W. Kim(Mech. Eng. Dept., PKNU), H. T. Choi(Boogook Co.Ltd.), Y. D. Jeong(Mech. Eng. Dept., PKNU),
 Y. S. Kim(Mech. Eng. Dept., PKNU)

ABSTRACT

The market share of plastic fuel tube in automobile part is now growing rapidly. Especially fuel tube makers have had their efforts to develop tube module not only with dimensional accuracy, spring back and cost competitiveness.

In this study, we used steam bending process for heat relaxation on PA12 plastic fuel tube's 128 types experimental bending conditions. we present the results of this process system in term of dimensional accuracy, and spring back.

Key Words : Tube bending(튜브 벤딩), Steam method(스팀 방식), Spring-back Angle(스프링백 각도), PA12 (폴리 아미드12), Bending fixture(벤딩 치구)

1. 서론

최근 자동차 산업의 동향은 경량화를 지향하면서 기존의 스틸재료(steel)에서 가볍고 내구성이 강한 플라스틱으로 재질이 변하는 추세이다. 이 중에서 자동차용 플라스틱 연료튜브는 1995년 이후 계속 차량에 적용되어 현재 사용되는 연료튜브(fuel tube)의 약 50%정도를 차지하고 있다.

플라스틱 튜브의 기본 제조 공정은 크게 절단 공정, 벤딩 공정, 조립 공정으로 구성되며 특히, 이 중에서 플라스틱 튜브의 벤딩 공정은 임의적 설비 시스템의 사용과 데이터 베이스의 구축이 미흡하여 품질의 산포가 심하며, 그 설비의 유지 보수가 문제시되고 있다. 이에 최근 들어 튜브 벤딩공정에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 고주파 가열에 의한 금속튜브의 벤딩에 관한 연구실적은 다소 있으나 아직 플라스틱 튜브에 관한 열성형 벤딩에 관한 연구는 전무한 실정이다.

플라스틱 튜브의 벤딩공정은 다음과 같이 크게

네가지가 적용되고 있다. 먼저 튜브를 치구에 삽입하여 오븐 속에서 높은 열과 물로써 성형하는 오븐 방식(oven method). 둘째, 할로겐 램프를 이용하여 벤딩 부위만을 국부 가열하는 할로겐 램프 방식(halogen lamp method). 셋째, 치구를 튜브에 삽입하여 폴리 에틸렌 글리콜 용액(polyethylene glycol)에 담구어 성형하는 딥핑 방식(deeping method). 마지막으로 플라스틱 튜브내부에 고온의 가열증기와 냉각 공기로 냉각하여 벤딩 성형하는 스팀 방식(steam method)으로 크게 나뉜다. 여러 벤딩 공정에 있어서 공통점은 재료 굽힘응력의 발생으로 인한 내부 응력을 여러 가지의 가열 수단을 통하여 열 이완(thermal relaxation)¹⁾ 하는 것이다.

본 연구에서는 스팀 방식을 이용한 벤딩 공정 시 발생하는 PA12(polyamid12) 튜브의 스프링 백 크기(spring-back angle)를 실험을 통하여 데이터 베이스화하고, 그 데이터를 분석하여 최종 연구 목표인 스팀 방식의 플라스틱 튜브 벤딩 공정의 자동화에 사용될 치구 설계의 기본 자료로 사용하고자 한다.

2. 본론

2.1 지배이론

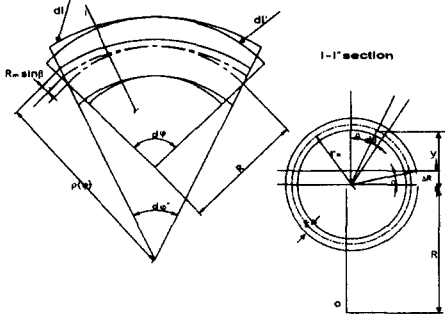


Fig. 1 Spring-back analysis

Fig. 1에서는 PA12 튜브의 스프링백에 관한 미소변형의 일부분을 나타낸다. 스프링백의 변형³⁾은 다음과 같이 주어진다.

$$d(\Delta\varphi') = d\varphi - d\varphi'$$

여기에서 $d\varphi$ 와 $d\varphi'$ 는 스프링백 전후의 미소변형의 굽힘각을 말한다. 스프링백에서 굽은 소재의 외측 인장은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \varepsilon'_z &= \frac{dl' - dl}{dl} \\ &= \frac{[\rho(\varphi) + r_m(1 - \sin\beta)]d\varphi - (R + r_m)d\varphi}{(R + r_m)d\varphi} \end{aligned}$$

$$\varepsilon'_z = \frac{\sigma'_z}{E} = \frac{k r_m}{E} (1 - \sin\beta)$$

여기에서 E 는 Young 계수이다. 그러므로

$$\begin{aligned} d(\Delta\varphi') &= \left[1 - \frac{R + r_m \sin\beta}{\rho(\varphi)} \right] d\varphi \\ &= \frac{k}{E} (R + r_m) d\varphi \end{aligned}$$

소재에서 굽힘 부분의 스프링백의 각 $\Delta\varphi'_0$ 는 다음과 같다.¹⁾

$$\begin{aligned} \Delta\varphi'_0 &= \frac{(R + r_m)}{E} \int_0^\phi k(\varphi) d\varphi \\ &= \frac{4\sigma_s}{E} \frac{(1 + R/r_m)(\sin\alpha + R/r_m)}{\sqrt{(\pi R/r_m)^2 - 16}} \\ &\quad \times \left\{ \arccos \left[\frac{\cos(\Phi + \Phi_0) \sqrt{(\pi R/r_m)^2 - 16}}{\pi R/r_m} \right] \right. \\ &\quad \left. - \arccos \left[\frac{\cos \Phi_0 \sqrt{(\pi R/r_m)^2 - 16}}{\pi R/r_m} \right] \right\} \end{aligned}$$

2.2 실험 방법 및 내용

Fig. 2는 실험장치의 구성도를 나타낸 것이며, Fig. 3은 벤딩치구의 사진을 나타낸 것이다. PA12 튜브 소재를 치구에 장착하고 양 끝단을 연결하여 보일러를 통한 고온의 증기와 에어 컴프레서(air-compressor)를 통한 압축공기를 실험조건에 따라 1회씩 각각 교대하여 주입한다. 보일러에 통한 고온의 증기를 성형을 위하여 압력과 시간에 변수를 두어 선주입하며, 에어 컴프레서를 통한 압축 공기는 냉각작용을 함으로써 그 압력과 시간을 일정하게 두어 후주입한다.

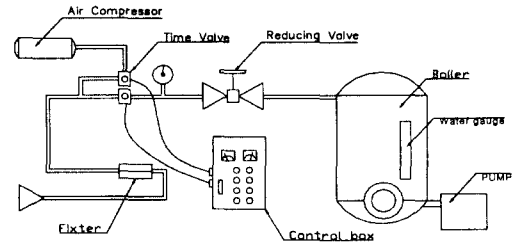


Fig. 2 Diagram of the steam bending system

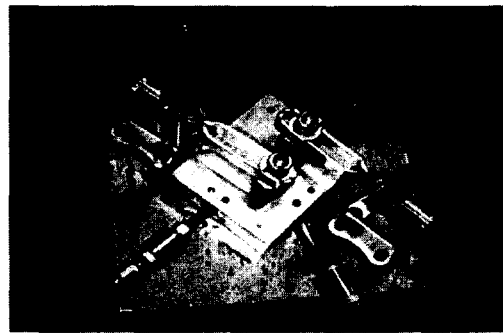


Fig. 3 Photo of the bending fixture

Table 1에서는 실험 조건을 나타낸 것으로, 냉각에 관련된 냉각 시간은 30초로 고정하였다. 스팀에 의한 가열 시간(heating time)은 10초에서 25초까지 5초 단위로 그 차를 두었으며, 온도는 보일러를 지나온 증기압이 과포화 증기라 가정하여 그 온도를 4단계로 나누었다.

치구 형상은 현재 자동차에 적용되고 있는 한계 각도인 60° 를 기준으로 150° 까지 30° 간격으로 등분하고, 내부 반경은 15mm, 20mm로 나누어 총 8개의 치구를 사용하여, 128개의 실험 조건으로 실험을 하였다.

Table 1 Conditions of experiment

Constant Conditions	Cooling Time (sec)	30sec with Air Compressor			
	Cooling Pressure (kg/cm ²)	.			
	Cooling Temp. (°C)	.			
Variable Conditions	Heating Time (sec)	10	15	20	25
	Heating Pressure (kg/cm ²)	4	5	6	7
	Heating Temp. (°C)	142.92	151.11	158.08	164.17
	Bending Radius (mm)	R-15		R-20	
	Bending Angle (°)	60	90	120	150

Table 2는 PA12의 재료물성치를 나타낸다.

Table 2 Properties of PA12

Property	Unit	Value
Tensile strength	kg/cm ²	430
Elongation	%	230
Bending strength	kg/cm ²	590
Impact strength (Izord)	kg · cm/cm	5
Melting point	°C	178
Coefficient of linear expansion	mm/mm/°C (×10 ⁻⁵)	1.5
Heat conductivity	.	0.21
Dielectric breakdown strength	kg/cm ²	33
Absorption index	%	-

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4에서 Fig. 9는 실험결과를 나타낸 것이다

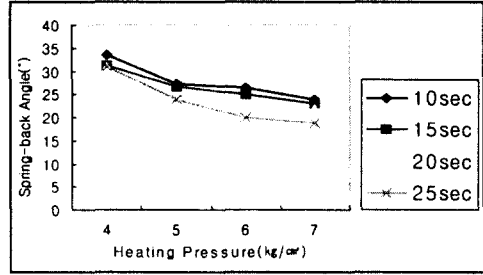


Fig. 4 Relation between spring-back angle and heating pressure of the tube(R20-60°)

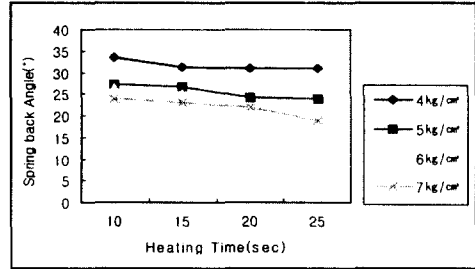


Fig. 5 Relation between spring-back angle and heating time of the tube(R20-60°)

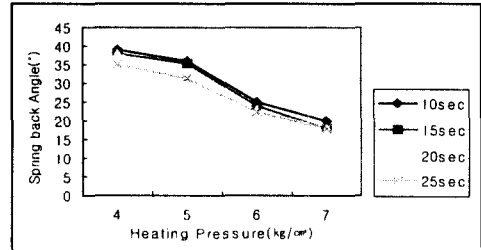


Fig. 6 Relation between spring-back angle and heating pressure of the tube(R15-60°)

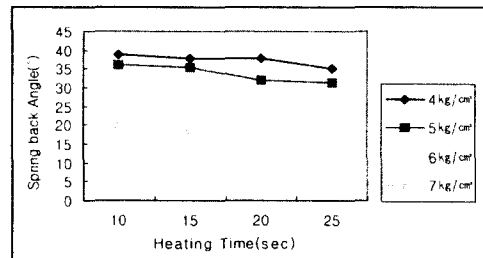


Fig. 7 Relation between spring-back angle and heating time of the tube(R15-60°)

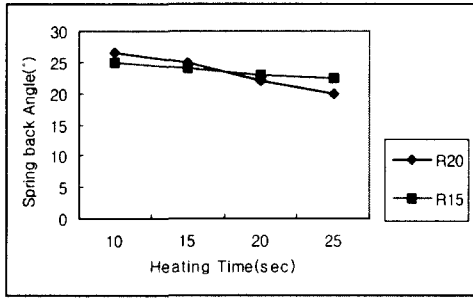


Fig. 8 Comparison of spring-back angle bending radius (60°)

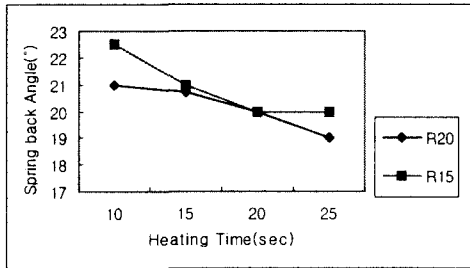


Fig. 9 Comparison of spring-back angle bending radius (90°)

실험 결과는 치구 형상별 성형조건인 압력과 가열 시간의 차이로 나타내었다. Fig. 4와 Fig. 6에서와 같이 증기 압력이 증가할수록 스프링백의 크기는 줄어들었다. Fig. 5와 Fig. 7은 압력을 개별 기준으로 하여 가열 시간에 대한 스프링백의 크기를 나타내었으며, 그 결과 가열 시간이 증가할수록 스프링백 크기가 줄어드는 우 하향 곡선을 나타내었으며 특히, 가열시간이 20초와 25초에서는 스프링백의 크기가 비슷한 거동을 나타내었다. 또한, Fig. 5에서와 같이 압력이 7kgf/cm²와 6kgf/cm²에서의 스프링백 크기의 거동은 굽힘 각도에 대한 스프링백의 크기비로 볼 때, 대략 최대 20%이내로 나타났다.

Fig. 8과 Fig. 9에서는 벤딩 반경(R)에 따른 스프링백의 크기를 비교하여 나타내었으며, 그 결과 벤딩 반경이 작은 R-15mm에서 약 10% 정도의 스프링백 크기가 크게 나타났다. 이는 벤딩 반경이 작을수록 내부응력은 증가하므로, 동일한 성형 조건에서 R-15mm가 R-20mm보다 더 큰 스프링백을 나타내었다고 사료된다.

또한, 압력 6kgf/cm²에서 비슷한 스프링백 크기가 나타났으며, 이는 PA12 재료의 연화점이 압력 6kgf/cm²에서 발생하여, 이 압력값에 전후하여 최대 이완이 발생했다고 사료된다.

4. 결론

본 실험에서는 직경 8mm, PA12 튜브를 기준으로 하여 각 실험조건에 따른 스프링백의 크기를 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 이것은 최종 연구 목표인 플라스틱 튜브의 자동성형 벤딩 시스템 개발의 기초 데이터 베이스를 구축할 수 있었다.

1. Spring-back의 크기는 압력 및 가열시간의 증가에 따라 그 크기가 줄어들며, 실험조건에서 압력의존도가 가열 시간 의존도에 비해 더 크게 나타났다.
2. 압력 6kg/cm², 가열시간 20sec 내외에서 최적의 튜브 성형 조건이 도출되었다.
3. 압력 8kg/cm²내외에서 튜브의 파열이 발생하여, 튜브 성형시 한계 조건임을 알 수 있었다.

후기

본 실험은 산업 자원부 산업기반기술 사업에 의한 (주)부국산업의 위탁연구비로 수행된 것으로 감사드리며, 부경대학교 기계공학부 BK21 사업단 및 실험에 몰심양면으로 도움을 주신 부경대 기계공학부 김선진 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

1. A.C. Ugural, S.K. Fenster, "Advanced Strength and Applied Elasticity", Prentice-Hall PTR, 1995.
2. 임상진, "材料力學", 문운당, 1997.
3. Z.Hu, "Elasto-plastic solutions for spring-back angle of pipe bending using local induction heating", Journal of Materials Processing Technology 102 (2000) pp.103~108, 1998.
4. H.A. Al-Qureshi, "Elastic-plastic analysis of tube bending", International Journal of Machine Tools & Manufacture 39 (1999) pp.87~104, 1998.
5. 박삼진, 류갑상, 최두선, 신보성, "파이프 벤딩 제어 소프트웨어에 관한 연구(I)", 과학기술처 UCN417-1689·C, 1991.