

자동차용 플라스틱 연료튜브의 복합 벤딩에 대한 스프링백 Spring Back on the Compound Bending of the Plastic Fuel Tube for Automobile

문찬용 · 박정식 · 정영득

C. Y. Moon, J. S. Park and Y. D. Jeong

Key Words : Plastic Fuel Tube(플라스틱 연료튜브), Compound Bending(복합벤딩), Spring Back(스프링백), PA12(Polyamide12, 폴리아미드12), PVDF(Poly Vinylidene Fluoride)

Abstract : Recently the requirements for light weight and high performance of the automobile have increased. Especially, the plastic fuel tube makers have made their efforts to develop the various plastic fuel tube module with not only dimensional accuracy but also cost competitiveness. The experiment is performed to investigate spring backs for PA12 plastic fuel tubes in case of compound bending. In the experiment, steam bending process is adopted as bending method. In this study, the results we obtained are used to design the bending fixtures and the compound bending system.

기호 설명

- $d\phi$: Bending angle before spring back [.]
- $d\phi'$: Bending angle after spring back [.]
- R : Bending radius [mm]
- r_m : Radius of the tube [mm]
- σ_s : Flow stress [MPa]
- α : Deviated angle of the neutral axis during tube bending [.]

1. 서 론

오늘날 자동차 산업의 급격한 발달로 인하여 환경문제가 심각하게 대두되고 있다. 자동차에서 배출되는 배기가스로 인하여 발생하는 환경문제는 심각한 수준에 이르게 되어, 세계 각국에서는 자동차 업계에 환경규제 조건을 제시하고 있다. 따라서, 자동차 업계에서는 제시된 환경규제 조건을 만

족시키기 위해 최선의 노력을 기울이고 있으며, 그 중 중요한 요인으로 인식되고 있는 것이 자동차의 경량화이다. 자동차의 경량화를 지향하면서 기존의 스틸(steel)재료에서 가볍고 내구성이 강한 플라스틱(plastic)으로 재료가 변화하는 추세이다. 자동차에서 플라스틱 재료가 차지하는 비율은 무게로는 8%정도, 부피로는 40%이상을 차지하고 있어, 이제 플라스틱이 없는 자동차는 생각할 수 없는 단계가 되었다. 자동차에 적용되는 플라스틱 중에서 연료튜브 재질에는 PA6, PA11, PA12 등이 있다¹⁾.

자동차용 플라스틱 연료튜브의 기본 제조공정은 압출, 절단, 벤딩 그리고 조립 공정의 순으로 구성되며, 이 중에서 벤딩 공정은 자동차에 튜브를 실제 장착하는데 있어 중요한 역할을 하는 공정이므로, 정확한 튜브 벤딩이 이루어져야 한다. 또한 벤딩후의 스프링백(spring back)에 의한 형상 및 치수 변화는 자동차의 소음이나 진동을 유발시키는 주요인이 된다. 현재 플라스틱 튜브의 벤딩 공정은 임의적 설비 시스템의 사용과 벤딩시 스프링백에 대한 데이터베이스의 구축이 미흡하여 제품 품질의 산포가 심하며, 그 설비의 유지 보수가 문제시되고 있다. 이에 최근 들어 플라스틱 튜브 벤딩 공정에 대한 연구가 진행되고 있으나, 고주파 가열에 의한 스틸 파이프의 벤딩에 관한 연구실적은 다소 있으나, 아직 플라스틱 튜브에 관한 열성형 벤딩에 관한 연구는 전무한 실정이다.

접수일 : 2002년 10월 31일
 정영득(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
 E-mail : mooncy@empal.com Tel. 051-416-8779
 문찬용 : 부경대학교 대학원
 박정식 : 부국산업(주) 기술연구소

플라스틱 튜브의 벤딩 공정에는 다음과 같이 크게 네가지가 적용되고 있다. 먼저 튜브를 치구에 삽입하여 오븐 속에서 높은 열과 물로서 성형하는 오븐방식(oven method), 할로겐 램프를 이용하여 벤딩 부위만을 국부 가열하는 할로겐 램프 방식(halogen lamp method), 치구에 튜브를 삽입하여 폴리 에틸렌 글리콜 용액(polyethylene glycol)에 담구어 성형하는 딥핑방식(dipping method), 마지막으로 플라스틱 튜브 내부에 고온의 가열증기와 냉각공기를 교대 주입하여 성형하는 스팀방식(steam method)으로 크게 나뉜다²⁾. 여러 벤딩 공정에 있어서 공통점은 재료 굽힘으로 인하여 발생하는 내부 응력을 여러 가지의 가열 수단을 통하여 열이완(thermal relaxation)하는 것이다.

본 연구에서는 스팀방식을 이용하여 PA12 (polyamide12) 플라스틱 연료튜브의 복합 벤딩 공정시 발생하는 플라스틱 튜브의 스프링백 크기를 실험을 통하여 파악함으로써, 플라스틱 연료튜브 벤딩에 있어서 스프링백에 관한 기초 데이터를 얻고, 그 데이터를 분석한 결과를 플라스틱 튜브 복합 벤딩 공정의 자동화 및 치구 설계 등의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 이론 해석

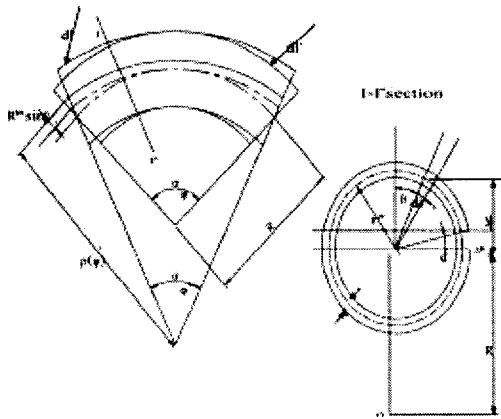


Fig. 1 Spring back analysis of the tube

Fig. 1에서는 플라스틱 튜브의 스프링백에 관한 미소변형의 일부분을 나타낸다. 스프링백의 변형은 다음과 같이 주어진다³⁾.

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

여기에서 $d\phi$ 와 $d\phi'$ 는 스프링백 전후의 미소변

형의 굽힘각을 말한다. 스프링백에서 굽은 소재의 외측 인장은 다음과 같다.

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

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

여기에서, E 는 영계수(Young's modulus)이다. 따라서

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

소재에서 굽힘 부분의 스프링백의 각 $\Delta\phi'_\phi$ 는 다음과 같다.

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

3. 실험방법 및 내용

Fig. 2는 실험장치의 구성도를 나타낸 것이며, Photo. 1은 실험장치에 대한 사진을 나타낸 것이다.

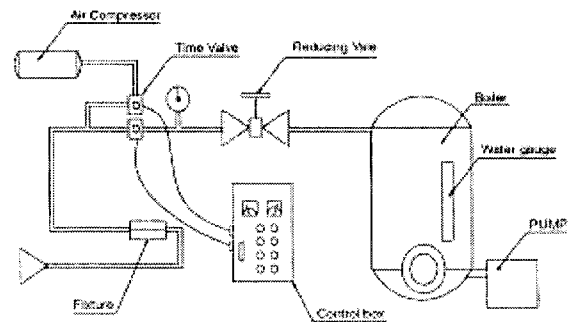


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental system

플라스틱 튜브 소재를 치구에 장착하고 양 끝단을 연결하여 보일러를 통한 고온의 증기와 공기 압축기(air-compressor)를 통한 냉각공기를 실험조건에 따라 1회씩 각각 교대하여 주입한다. 보일러를 통한 고온의 증기는 성형을 위하여 압력과 시간에 변수를 두어 선주입하며, 공기 압축기를 통한 압축 공기는 냉각작용을 위한 것으로, 그 압력과 시간을 일정하게 하여 후주입한다.

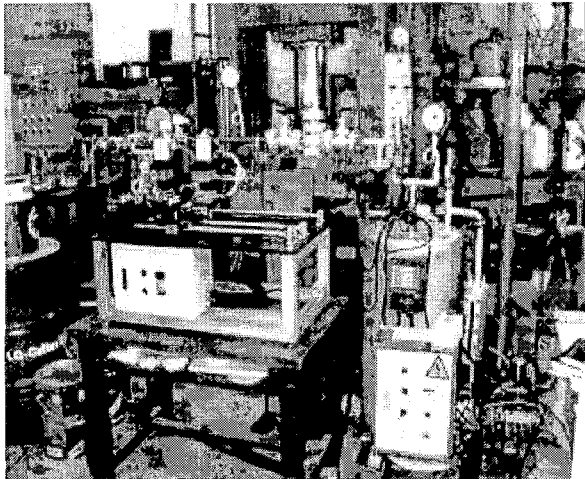


Photo 1 Experimental system for tube bending

Fig. 3은 복합 벤딩 튜브의 개략도를 나타낸 것이다. 복합 벤딩 튜브의 형상정보에서 A_1 과 A_2 는 1, 2차 벤딩 각도를 나타내며, R 은 벤딩 반경을 나타낸다. L 은 곡률 중심간 거리를 나타낸다.

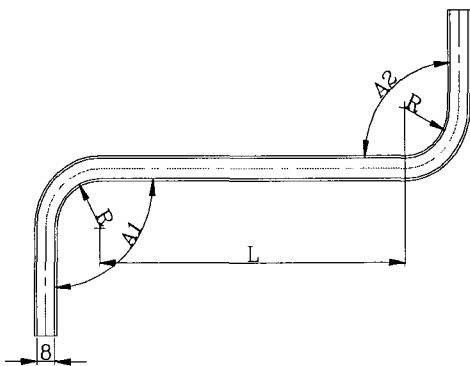


Fig. 3 Schematic diagram of the compound bending tube

Table 1은 플라스틱 튜브의 벤딩 실험 조건을 나타낸 것으로, 냉각에 관련된 냉각 압력 및 시간은 0.49MPa 와 30초로 고정하였고, 고온의 증기를 이용한 가열 시간은 20초로 하였다. 증기압력은 플라스틱 재료인 모노(mono layer)와 2 layer에는

0.59MPa, 4 layer에는 0.69MPa의 압력을 가하였으며, 보일러를 지나온 증기압은 과포화 증기라 가정하였다.

치구 형상은 현재 자동차에 적용되고 있는 한계 각도인 90°를 기준으로 150°까지 30°간격으로 등분하고, 내부 반경은 R20mm로 하여 총 270개의 실험 조건으로 실험을 하였다.

Table 1 Experimental conditions

Constant Conditions	Cooling pressure (MPa)	0.49					
	Cooling temp.(°C)	10					
	Cooling time (s)	30					
	Heating time (s)	20					
	Bending radius(mm)	R20-R20					
	Tube diameter (mm)	Ø8					
Variable Conditions	Heating pressure (MPa)	0.59		0.69			
	Heating temp.(°C)	158.08		164.17			
	Bending angle(°)	90-90	90-120	90-150	120-120	120-150	150-150
	Specimen (layer)	Mono		2		4	
	Distance of L(mm)	100	200	300	400	500	

Table 2는 플라스틱 연료튜브의 재료로 사용되는 PA12의 기계적, 물리적 물성치를 나타낸다.

Table 2 Properties of the PA12

Properties	Unit	Value
Tensile strength	MPa	42.14
Elongation	%	230
Bending strength	MPa	57.82
Impact strength (Izord)	N · mm/mm ³	0.49
Melting point	°C	178
Coefficient of linear expansion	mm/mm/°C (x10 ⁻⁵)	1.5
Heat conductivity	N · mm/mm · K	0.21
Dielectric breakdown strength	MPa	3.23
Absorption index	%	-

4. 결과 및 고찰

Photo 2는 스팀방식에 의해 제작된 플라스틱 복합 벤딩 튜브의 사진을 나타낸다.

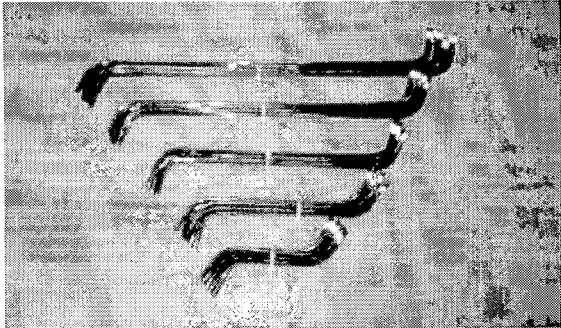


Photo 2 Plastic compound bending tubes

Fig. 4에서 Fig. 6까지는 1차, 2차 벤딩 각도가 동일하고, 곡률 중심간 거리가 300mm일 때의 A₁과 A₂의 스프링백 분포를 비교하여 나타내었다.

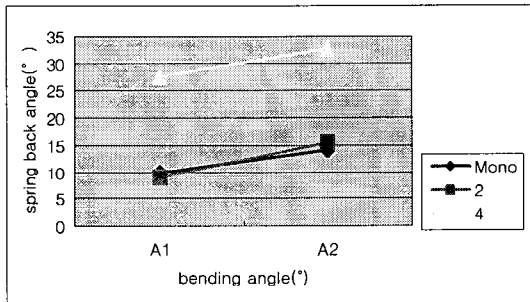


Fig. 4 The spring backs of the A1 and A2 (90°-90°-300mm)

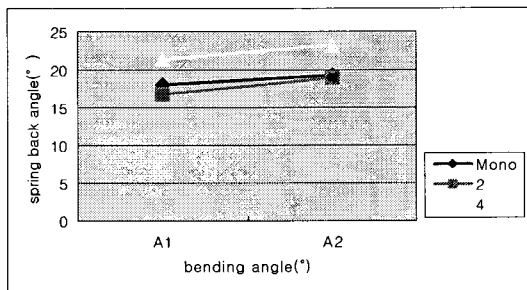


Fig. 5 The spring backs of the A1 and A2 (120°-120°-300mm)

곡률 중심간 거리가 300mm일 때, A₁과 A₂의 스프링백 크기가 평균 약 2°~5°정도의 증가를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 1차, 2차 벤딩 각도가 90°일 때는 스프링백의 이론식에서 알 수 있듯이

벤딩시 재료 내부에 발생하는 굽힘 응력이 120°나 150°에 비해서 크게 나타나므로, 스프링백이 많이 발생하였다고 사료된다. 또한, 모노와 2 layer는 1차, 2차에서 비슷한 양상의 스프링백 크기를 보이는 것에 비해 4 layer는 스프링백의 크기가 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 4 layer의 구성에서 PVDF(poly vinylidene fluoride)⁴⁾층이 열전도성이 상대적으로 낮고, 강성도가 크기 때문인 것으로 사료된다.

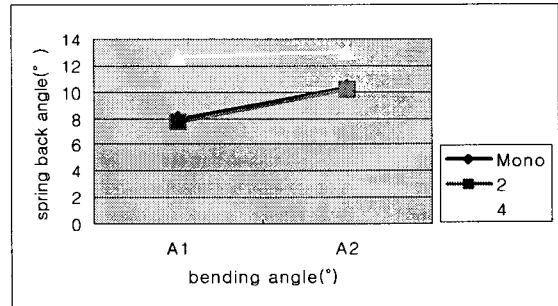


Fig. 6 The spring backs of the A1 and A2 (150°-150°-300mm)

Fig. 7에서는 곡률 중심간 거리에 따른 스프링백의 크기를 나타낸다. 곡률 중심간 거리가 증가할수록 복합 벤딩 평균 스프링백 편차각도(A₂-A₁)는 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 고온의 스팀이 튜브를 통과하면서 튜브 길이에 비례하여 온도강하가 일어나기 때문인 것으로 여겨진다.

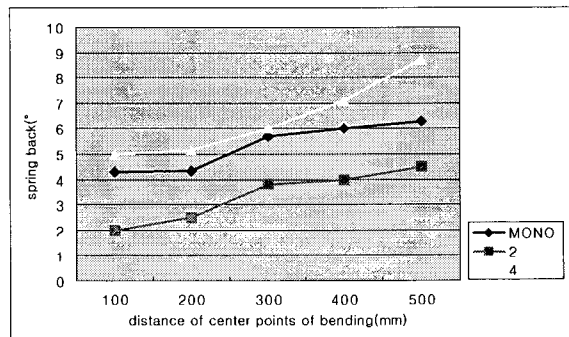


Fig. 7 Spring backs according to distance center points of bending

5. 결론

본 연구에서는 자동차용 플라스틱 연료튜브 3종의 복합 벤딩에 대한 실험적 연구를 통하여 스프링백에 관한 기초 데이터를 얻을 수 있었으며, 다

음과 같은 결론을 얻었다.

1. 복합 벤딩 튜브의 A_1 (1차)과 A_2 (2차)의 벤딩 각도가 동일할 때, A_2 의 스프링백 크기가 평균 약 $2^\circ \sim 5^\circ$ 정도 크게 나타났다.
2. 튜브 재료중 mono layer와 2 layer는 스프링백 크기가 비슷하게 나타났으며, 4 layer가 가장 크게 나타났다.
3. A_1 은 각도를 동일하게 두고, A_2 의 각도를 변수로 하여 점차 크게 하면, A_1 의 스프링백 크기가 점차 작게 발생하였다.

bending”, World Scientific, pp. 66~74.

후 기

본 연구는 산업자원부 산업기반기술개발사업(과제번호 : 000-11-685)에 의한 부국산업(주)의 위탁 연구비로 수행된 것으로 감사드리며, 부경대학교 기계공학부 BK21 사업단 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 박정기, 박오욱, 1998, “고분자 재료공학”, 시그마프레스, pp. 152~163.
2. 부국산업(주), 2002, “플라스틱 연료튜브 계통의 벤딩시스템 개발”, 산업자원부 산업기술개발사업(과제번호: 000-11-685), pp. 11~17.
3. Z. Hu, 1998, “Elasto-Plastic Solutions for Spring-Back Angle of Pipe Bending Using Local Induction Heating”, Journal of Materials Processing Technology 102, pp. 103~108.
4. Daicel-degussa Ltd. Germany, 1983, “Synopsis of Polyamid 12 Grades and Properties”, pp. 8~21.
5. H. A. Al-Qureshi, 1998, “Elastic-Plastic Analysis of Tube Bending”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 39, pp. 87~104.
6. 박삼진, 류갑상, 최두선, 신보성, 1991, “파이프 벤딩 제어 소프트웨어에 관한 연구(I)”, 과학기술처 UCN417-1689·C, pp. 22~39.
7. A. C. Ugural, S. K. Fenster, 1995, “Advanced Strength and Applied Elasticity”, Prentice-Hall PTR, pp. 79~87.
8. 임상전, 1996, “材料力學”, 문운당, pp. 100~113.
9. T. X. Yu, L. C. Zhang, 1996, “Plastic