

자동차용 플라스틱 연료튜브의 환경온도에 따른 후변형에 관한 연구

A Study on the Post Deformation According to an Environmental Temperature of the Plastic Fuel Tube for Automobile

박정식 · 문찬용 · 정영득

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

Key Words : Plastic Fuel Tube (플라스틱 연료튜브), Environmental Temperature (환경온도), Post Deformation (후변형), PA12 (Polyamide12, 폴리아미드 12)

Abstract : Recently the plastic fuel tube is usually used to reduce production cost and weight in automobiles. These days, material used to plastic fuel tube is the polyamide12. The fuel tube is made of the PA12. Post deformation of the tube has been changed by environmental temperature. So, it is important to prevent post deformation. The experiment is performed to investigate post deformation of the tube produced by each bending process. In this study, the results we obtained are used to bending process system for post deformation as the environmental temperature of the tube. It turned out that the method of steam heating and air cooling was shown less deformation than other methods.

1. 서 론

$\Delta\theta = \theta_A - \theta_B$: 변형량

θ_A : 변형 전의 굽힘각

θ_B : 변형 후의 굽힘각

R : 굽힘 반경

K : 굽힘 곡률

E : 탄성계수

M : 굽힘 모멘트

I : 튜브의 관성 모멘트

Method 1 : 외부가열/외부서냉

Method 2 : 내부가열/내부급냉

Method 3 : 내부가열/내부서냉

최근 자동차 산업의 동향이 연비절감을 위한 차량 경량화로 발전하면서 스틸류의 소재에서 점차

내구성이 강한 플라스틱 소재로 재질의 변화를 요구하고 있다. 연료 탱크에서부터 엔진까지 연료의 이송통로가 되는 연료튜브의 경우 90년대에 최초로 플라스틱소재를 사용하여 현재는 전체 사용량의 약 50% 정도로 확대되었으며, 까다로워진 환경 규제에 대응하기 위하여 복합 소재의 개발이 계속적으로 이루어지고 있다. 이러한 연료튜브의 생산 방법은 압출에 의해 튜브를 성형가공하고, 열 벤딩을 거쳐 일정한 형상으로 변형시킨 후 차량에 장착되어진다. 현재 생산되고 있는 자동차용 플라스틱 튜브의 벤딩방법은 다음과 같이 크게 2가지로 나눌 수 있다. 먼저 튜브를 치구에 삽입한 후 튜브의 외부에서 높은 열을 가하여 벤딩하는 외부가열 외부냉각방식과 플라스틱 튜브 내부에 고온의 열을 가한 후 냉각공기나 냉각수를 이용해서 튜브를 식혀 벤딩하는 내부가열 내부냉각방식이 있다. 전자의 경우는 가열히터를 이용하여 튜브를 가열한 후 벤딩하는 방법이고, 후자의 경우는 튜브내부에 고온의 스팀을 주입하는 방식이 많이 사용되고 있다. 그 외에도 여러 가지 벤딩 방법들이 있으나 이들의 공통점은 굽힘으로 발생한 내부 응력을 여러 가지 가열수단을 이용하여 열이완(thermal relaxation) 시키는 것이다.

접수일 : 2002년 10월 25일

정영득(책임저자) : 부경대학교 기계공학부

E-mail : barum75@hotmail.com , Tel. 052-264-7618

박정식 : 부국산업(주)기술연구소

문찬용 : 부경대학교 대학원

본 연구에서는 여러 가지 벤딩방법에 의해 소성 변형된 플라스틱 튜브소재가 외부의 환경온도에 의해 다시 복원되는 변형량에 대하여 실험을 통해 그 결과를 기초 자료화하고, 그 데이터를 분석하여 최종 연구 목표인 자동차용 플라스틱연료튜브 벤딩 공정의 최적 생산방법 및 조건 개발의 기본자료로 활용하고자 하였다. 즉, 실차에 장착될 제품은 엔진의 고열이나 혹한의 극저온 등에 의해 변형되지 않아야 하므로 위와 같은 연구를 통해 제품의 변형량을 조사함으로써 차량의 운행시 발생할 수 있는 문제점을 사전에 예측하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교 분석함으로써 외부의 기후나 온도변화로부터 보다 안전하고 경량화된 자동차 연료튜브의 개발에 응용할 수 있을 것이다.

2. 이론 및 실험

2.1 자동차용 플라스틱 연료튜브

PA12 계열의 자동차용 플라스틱 연료튜브는 단층 또는 다층으로 이루어져 있으며, 연료의 정전기에 의한 발화를 막기 위해 전도성 층을 코팅하는 등 자동차의 환경규제대응과 안전성 확보를 위해 계속적으로 발전되고 있다.

Table 1 Properties of the plastic fuel tube(∅8mm)

Properties	Unit	Inner layer	outer layer
Specific gravity	-	1.11 ± 0.01	1.02 ± 0.01
Tensile strength	MPa	36 over	46 over
Elongation	%	145 over	245 over
Bending strength	MPa	549 over	235 over
Hardness	R scale	83 over	77 over

Table 2 Structures of the PA12 fuel tube

Type	PA12	PA12 conductive	PA12 PVDF PA12	PA12 PVDF PA12 conductive
Form				
Layer	1	2	3	4
Conductivity	×	○	×	○

* PVDF : Poly Vinylidene Fluoride

본 연구에서는 단층, 2층 그리고 4층의 구조로 이루어진 플라스틱연료튜브에 대하여 각각 후변형 실험을 실시하였으며, 각각의 튜브마다 벤딩 후 즉시 복원되는 량, 즉 초기 스프링백량은 무시하였다. Table 1에서는 본 연구에서 사용한 자동차용 플라스틱 연료튜브의 기본 물성을 나타내었으며, 내층에 전도성 PA12 재료를 사용하여 복층의 구조를 가진 외경 8mm의 튜브를 대상재료로 하였다. Table 2에는 자동차용 연료튜브에 사용되는 여러 가지 플라스틱 튜브의 구조를 나타내었다.

2.2 PA12의 특성과 열에 의한 영향

PA12의 주용도는 주로 flexible pipe, tube, extrusion coating 제품으로 사용하며, 직선형 반결정성 열가소성 물질이다. PA11과 유사한 성질들을 가지고 있으나, PA11의 결정구조와는 다르다. 내마찰, 내마모성, 내약품성, 내유성 등이 우수하며, 녹는점이 높고 흡수성이 우수하여 수분을 잘 흡수한다. 수분흡수로 인해 기계적 강도는 저하하나, 유연성, 내충격성은 증가한다. 수축율은 0.5%에서 2% 정도이다. Fig. 1은 PA12 계열의 수지인 Vestamid™ (Daicel -Degussa Ltd., Germany) 수지에 대한 온도에 따른 열팽창계수를 나타낸 그래프이다.

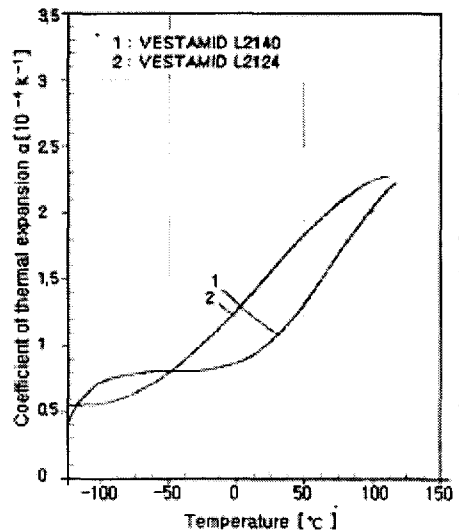


Fig. 1 Coefficient of thermal expansion according to ISO 11359

2.3 열 변형 실험

2.3.1 변형 이론

튜브의 굽힘 공정에 대한 해석방법은 단순화된 모델을 가정함으로써 튜브의 스프링백에 대한 해

를 구하였다. Fig. 2는 변형 전과 후의 변형모습을 기하학적으로 나타내었으며, 변형 이전과 이후의 굽힘각을 각각 θ_A, θ_B 라 하면 변형량($\Delta\theta$)은 $\theta_A - \theta_B$ 가 된다.

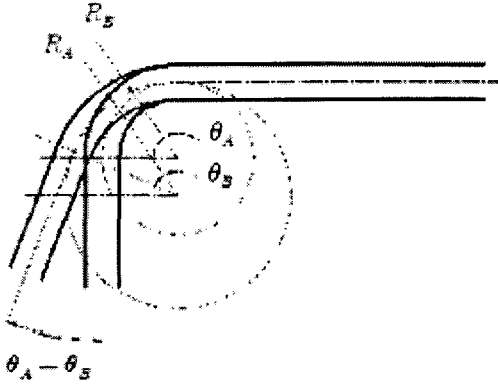


Fig. 2 Deformation of PA12 plastic tube

$$\theta_B = \theta_A \frac{R_A}{R_B} = \theta_A \frac{K_B}{K_A}$$

$$\Delta K = K_A - K_B = \frac{M_A}{EI}$$

$$\theta_B = \theta_A \left(1 - \frac{\Delta K}{K_A}\right) = \theta_A \left(1 - \frac{M_A R_A}{EI}\right)$$

$$\Delta\theta = \theta_A \frac{R_A M_A}{EI}$$

체적 또는 형상 변화의 원인은 내부의 잔류응력의 변화 때문에 일어나는 팽창, 수축에 의한 것이라고 생각되며, 지그에 의해 강제적인 힘으로 벤딩된 튜브는 내부에 잔류응력을 가지고 있다. 이 응력의 크기는 벤딩각도에 따라 달라지고, 벤딩각이 커질수록 내부에 많은 잔류응력이 존재하는 것으로 나타났다. 이러한 잔류응력은 플라스틱 튜브를 어닐링(annealing) 시킴으로써 잔류응력을 완화 또는 제거하게 되나, 이와 동시에 PA12 내부의 밀도를 증가시켜 후변형을 일으키게 되는데, 이 후변형의 크기를 측정함으로써 내부에 존재하는 잔류응력의 크기를 알 수 있다.

2.3.2 실험방법 및 내용

본 연구에서 사용한 실험 시편은 3가지 가열방식을 적용하여 외부가열/외부냉각방식과 내부가열/내부서냉방식, 그리고 내부가열/내부급냉방식으로 4-layer, 2-layer, Mono-layer의 3가지 튜브를 각각의 조건에 대하여 5개씩의 시편을 만들었으며,

제작된 시료를 실온상태에서 72시간 이상 경과 후 2차 가열을 실시하였다. 후변형의 크기는 2차 가열 후 실온상태에서 24시간 경과 후 벤딩각도를 측정하여 데이터를 작성하였다. Table 3은 실험에 사용된 실험요소인자를 나타내었다.

Table 3 Experimental conditions

Factor	Condition	No. of Factors
Material	Mono-layer(PA12)	3
	2-layer(PA12+conductive)	
	4-layer(PA12+PVDF)	
Bending angle	90°	1
Heating temp.	-30°C, 0°C, room temp., 30°C, 60°C, 90°C	6
Bending process	Method A	3
	Method B	
	Method C	
Tube's dia.	ø8 mm	1
Bending	1	1
Specimen length	175 mm	1

가열시험은 제작된 시료를 -30°C, 0°C, 상온, 30°C, 60°C, 90°C에 대하여 각각의 온도에서 24시간동안 재가열한 후 변형량을 측정하였다. 재가열 시간은 24시간을 기준으로 각각의 온도에 대하여 시료 갯수를 5개씩 재가열 하였으며, 실온상태에서 다시 24시간이 경과 후 벤딩각도를 측정하였다.

Fig. 3은 제작된 시료를 가열로에 넣고 가열하는 사진이다.

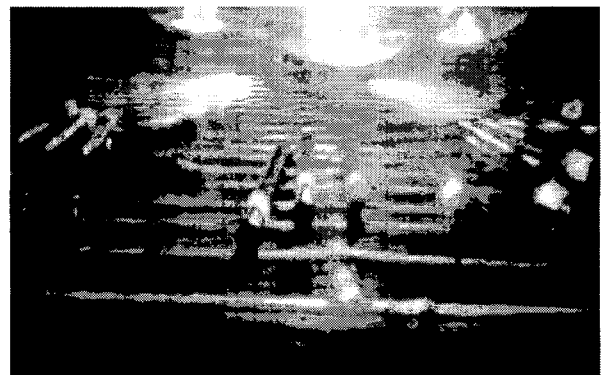


Fig. 3 Experiment for the PA12 plastic tube deformation by external heat

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4 ~ Fig. 6은 튜브 종류별 가열 조건에 대하여 가열후의 변형된 각도 데이터를 비교하여 나

타낸 그래프이다. 실험결과 상온 이하의 온도에서는 각도변화가 거의 나타나지 않았으며, 30°C에서 예상외로 -1°에서 2° 정도 각도가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이는 재료내에 존재하던 수분이 증발함으로 인해 재료가 수축됨으로써 발생하는 결과라 사료되며 PA12의 경우 흡수율이 상온에서 1.6%의 흡수율을 가지고 있다.

튜브를 가열해서 벤딩시켰을 경우 벤딩오차에 대한 산포도 발생은 Method C가 다소 크게 나타났으며, Method A에서 안정적임을 알 수 있었다.

그러나 2차 가열 후의 후변형 발생은 Method A, Method B, Method C 순으로 크게 나타났으며, 이 결과로 볼 때, Method C가 재료내에 존재하는 잔류응력을 최소화시킬 수 있는 것으로 사료된다.

또한, 튜브종류에 따라 각도변화가 다르게 나타났으며, 4-layer의 경우 벤딩방법에 따라 각도변화가 크게 달라짐을 알 수 있었다. 따라서 환경적 요인에 의한 2차 열변형을 막기 위해서는 내부응력을 제거해주는 공정이 튜브벤딩시 필요하다고 사료된다.

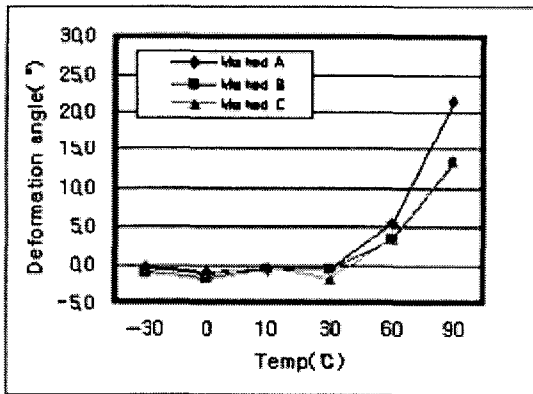


Fig. 4 Thermal deformation for mono-layer

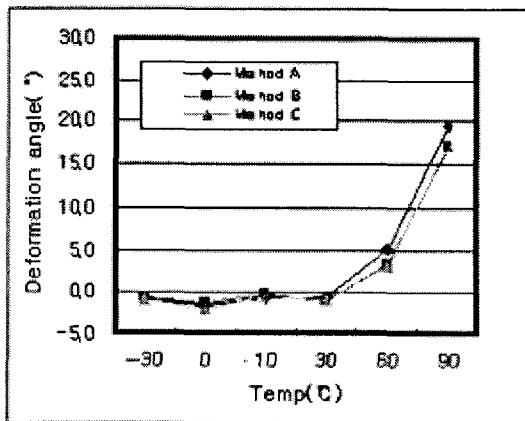


Fig. 5 Thermal deformation for 2-layer

Fig. 6에서 볼 때 4-layer의 경우에는 Method C에서 후변형이 가장 작게 일어남을 알 수 있으며, 향후 개발될 다양한 종류의 플라스틱 연료튜브에 대해서도 안정적으로 제품생산이 이루어지기 위해서는 지속적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

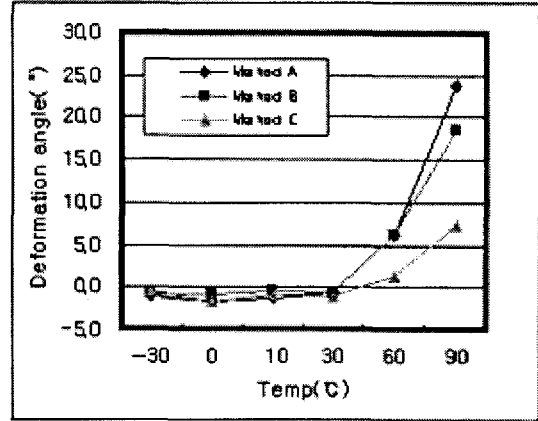


Fig. 6 Thermal deformation for 4-layer

4. 결 론

본 연구에서는 자동차용 연료튜브인 PA12 계열의 각종 튜브에 대하여 튜브가 벤딩된 후 환경 요인에 의해 발생하는 변형량을 실험적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 튜브벤딩시 벤딩 방법에 따른 벤딩각도의 산포도는 Method C가 다소 크게 나타났으나, 환경적 요인에 의한 후변형 발생은 Method C가 가장 작게 나타났으므로 Method C가 PA12 튜브의 벤딩방법으로는 가장 적합하다고 사료된다.
2. 튜브의 종류에 따라 변형량이 다르게 나타났으며, 외부에서의 국부가열 방식이 내부 응력이 가장 많이 발생한다.
3. 상온 이하의 온도에서는 후변형이 거의 나타나지 않는다.
4. 환경적 요인에 의한 자동차용 플라스틱 튜브의 변형을 막기 위해서는 튜브를 벤딩한 후 잔류응력제거를 위한 추가공정이 필요하다고 생각된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 산업기반기술개발사업(과제번호 : 000-11-685)의 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

1. 부국산업(주), 2002, “플라스틱 연료튜브 계통의 벤딩시스템개발”, 산업기술개발사업 최종보고서, 산업자원부
2. T. X. Yu, L. C. Zhang, 1996, “Plastic Bending”, Series on Engineering Mechanics, Vol. 2, pp. 53~68.
3. S. P. Timoshenko, J. N. Goodier, 1987, “Theory of Elasticity”, Third Edition, Mc.Graw-Hill Book Company, pp. 170~198.
4. 양재봉, 전병희, 오수익, 2000, “Tube Bending Analysis for Hydroforming Process”, 한국소성가공학회 2000춘계학술대회논문집, pp. 249~256.
5. 김대식, 문찬용, 최형태, 정영득, 2001, “A Study in the PA12 Tube Spring-back”, 한국정밀학회 2001추계학술대회 논문집, pp. 300~304.
6. Daicel-degussa Ltd.(Germany), 1983, “Synopsis of Polyamid 12 Grades and Properties”, pp. 10~17.