

# 파이프의 지그 삽입 인장시험법에 대한 실험적 연구

박진근\*, 송현정\*, 진다정\*, 김지훈\*\*, 조해용\*\*\*, #

\*충북대학교 기계공학과, \*\* (주)선일다이파스, \*\*\*충북대학교 기계공학부

## Experimental Study on Tensile Test Method of Pipe with Jig

Jin-Gun Park\*, Hyun-Jung Song\*, Da-Jeong Jin\*, Ji-Hoon Kim\*\*, Hae-Yong Cho\*\*\*, #

\*Dept. of Mechanical Engineering, Chungbuk Nat' l Univ., \*\*Sunildyfas Corporation,

\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Chungbuk Nat' l Univ.

(Received 31 March 2022; received in revised form 07 April 2022; accepted 14 April 2022)

### ABSTRACT

A pipe is a hollow, long-form part that is primarily used to transport fluids, such as liquids or gases. Pipes are used in a range of applications in different fields from mechanical purposes to architecture and electrical uses. Despite the significance owing to various usability of pipes, few studies have been conducted using the physical property test method. The tensile test is widely used as a method to check the physical properties of the pipe. The existing pipe tension test contains the possibility to cause errors, which are fractures outside the gauge distance and cross-sectional deformation of the pipe. In this study, a novel pipe tension test method using a jig is presented and pipes with various materials are tested. It is expected that the proposed method can reduce errors that occur in conventional pipes and also obtain more accurate values to enable more efficient testing.

**Keywords :** Pipe(관), Tension Test(인장시험), Interference Fit(억지끼워맞춤), Work-Hardening(가공경화)

## 1. 서 론

관(파이프)이란 속이 비고 긴 형태의 자재로서 주로 액체나 기체와 같은 유체를 수송하기 위해 사용되나, 기계 부품, 전선 보호관, 건축 구조재, 악기 등에 이르기까지 사용 범위가 매우 넓다.

관의 종류는 재질, 사용용도, 제조 방법 등에 따라

분류한다. 먼저 재질에 따라서는 크게 금속관, 비금속관으로 나누며 금속관에는 탄소강관, 주철관, 구리관, 알루미늄관, 합금관 등이 있고, 비금속관으로는 비닐관, 고무관, 철근-콘크리트관, 목관 등이 있다. 사용 용도에 따라서는 관내의 유체 수송 목적의 파이프와 관 안-밖으로 열교환 목적의 튜브, 그리고 건축물 등에 사용되는 구조용 관 등으로 분류한다. 또한 제조 방법에 따라서는 관재를 둥글게 말아 축 방향으로 접합하여 만드는 이음관(seamed pipe)과 이음매가 없는 관(seamless pipe)으로 분류한다.

이와 같이 기계부품 등 산업 전 분야에 걸쳐 사용되

# Corresponding Author : [hycho@chungbuk.ac.kr](mailto:hycho@chungbuk.ac.kr)

Tel: +82-43-261-2464, Fax: +82-43-261-2448

는 파이프는 다양한 종류의 유체를 수송하거나 구조물로서의 역할을 수행하기 위해 사용 환경에 적합한 내구성이 요구된다. 따라서 내구성을 확보하기 위해 정확한 물성평가가 필요하다.

물성평가에 기준이 되는 재료시험에는 정적강도시험, 파괴인성시험, 피로시험, 크리프시험, 충격시험, 경도시험 등이 있으며, 정적강도시험으로서는 인장시험, 압축시험, 굽힘시험 및 비틀림시험 등이 있다. 이들 중, 인장시험(Tension test)은 재료선정의 기본이 되는 것으로 시험 방법 및 경계조건이 단순하고 명료하기 때문에 가장 널리 행하여지고 있다.

인장시험은 시험편의 양단을 시험기에 고정하고 시험편의 축 방향에 연속적으로 증가하는 하중을 가하여 각종 재료의 기계적 강도 특성을 측정하는 시험으로, 재료의 탄성한도, 인장강도, 항복점, 영률, 연신률, 단면수축 등 그 재료의 소성변형 특성을 가장 간단히 정량적으로 나타내어 소성이론의 기초가 된다.<sup>[1,2]</sup>

인장시험에 관한 연구는 특수한 형상이나 재료에 대한 인장시험 방법<sup>[3,4]</sup>, 인장시험을 통한 재료의 물성치 등에 관한 연구<sup>[5-8]</sup>와 인장시험의 수치적 해석<sup>[9-11]</sup>에 대하여 활발히 이루어지고 있다. 그러나 관의 인장시험편 제작이나 인장시험 방법에 대한 연구는 미비한 실정이다.

국제표준화기구(International Organization for Standardization)나 한국공업규격(Korean Industrial Standard)에서는 관의 인장시험 시 물림부를 두드려 평행하게 만든 후 인장시험을 수행하거나 시험편 물림부에 지그를 삽입하여 인장시험을 수행하도록 하고 있으며, 상기와 같은 방법 외에 별도의 파이프 시험편을 제작하여 시험하기도 한다.

물림부를 두드려 파이프의 표점거리 구간과 평행하게 만든 후 인장시험을 수행하는 방법은 시험편의 제작이 어렵고 물림부 근처에서 파단이 일어나거나 파이프의 단면이 타원형으로 변형되는 현상이 발생한다. 또한 인장시험 중 물림부에서 척의 슬립으로 시험편에 따라 기계적 강도의 편차가 크게 발생할 수 있다.

시험편에 지그를 삽입하여 인장시험을 수행하는 방법은 지그의 규격과 삽입 방법이 규정되어 있지 않기 때문에 지그 제작 및 사용 방법에 따라 결과가 상이하게 나오는 문제점이 있다.

물림부를 두드려 인장시험을 수행하는 경우는 변형과 파단에 대한 제어가 힘들고, 지그를 삽입하여 인장시험을 수행하는 경우는 지그 규격과 삽입 방법을 적절히 설계하면 관 형상의 인장시험을 보다 정확하게 수행할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 다양한 금속 소재의 관 형상 시험편에 지그를 삽입하여 인장시험을 수행함으로써 지그 삽입 인장시험법을 검증하고자 하였다.

## 2. 인장 시험

### 2.1 Jig 설계

본 논문에서는 관의 인장시험 시 시험편 물림부에 지그를 삽입하였으며, 지그의 형상은 Fig. 1과 같다. 관의 물림부에 억지끼워맞춤을 적용하여 가공정화를 일으킴으로써 인장시험 중 물림부의 변형을 방지하도록 설계하였다. 따라서 지그 삽입부는 관의 물림부 안지름 11.00mm에 대해 공차 규격(KS B 0401)과 IT등급을 고려하여 허용치수 범위에 포함하도록 11.05mm로 설계하였다.

### 2.2 인장시험 시험편

시험편의 표점거리는 KS B 0801 규격을 참고하면 표점거리  $L = 5.65\sqrt{A}$  이고, 바깥지름이  $D$ 일 때 지그에 접촉하지 않고 변형할 수 있는 부분의 길이는  $(L + \frac{D}{2}) \sim (L + 2D)$ 로 하며, 될 수 있는 한  $(L + 2D)$ 로 한다. 따라서 변형부 길이는 100mm, 양단의 물림부 길이 34mm를 고려하여 길이 168mm로 설계하였

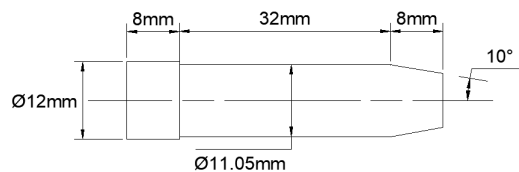


Fig. 1 Geometry of jig specimen

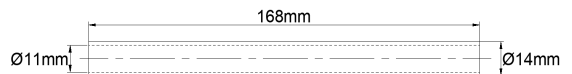
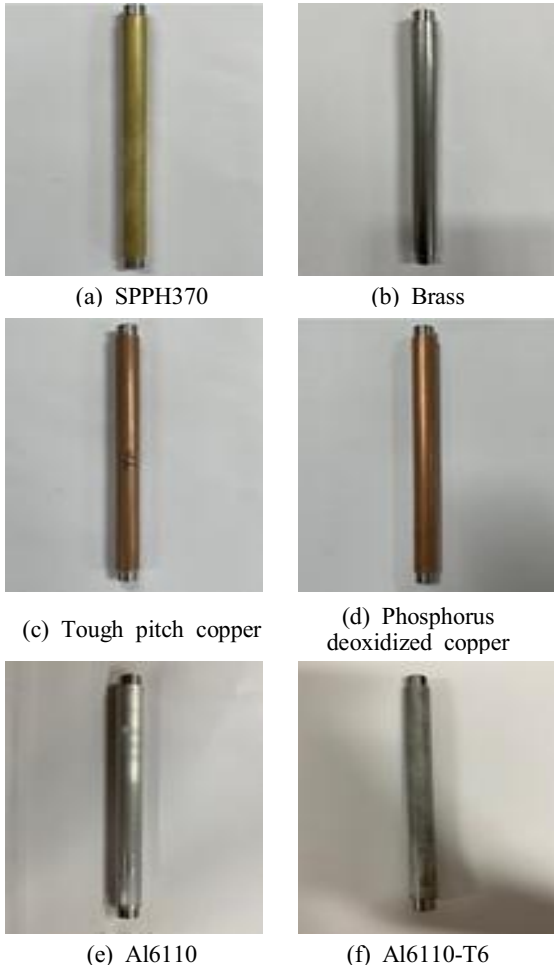


Fig. 2 Geometry of pipe specimen

**Table 1 Mechanical properties of specimens**

	Maximum Elongation (%)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
SPPH370	30	284	373
Brass	52	255	431
Tough pitch copper	1.5	365	455
Phosphorus deoxidized copper	45	345	379
Al6110	18	250	360
Al6110-T6	11	430	470



**Fig. 3 Test specimens with jig**



**Fig. 4 Photograph of pipe tensile test**

으며, 관의 형상과 치수는 Fig. 2에 나타내었다.

시편은 인장시험 시 네킹현상과 같은 임계응력을 파악하기 용이한 연성이 높은 재료로서 탄소강 (SPPH370), 황동, 타프피치동, 인탈산동, 알루미늄합금(Al6110) 및 열처리한 알루미늄합금(Al6110-T6)으로 제작하였고, 조사한 기계적 물성을 Table 1에 나타내었다. 각 소재의 관에 지그를 삽입한 시험편은 Fig. 3에 나타내었다.

### 2.3 인장시험

Fig. 4는 INSTRON@8801 만능시험기에 시편을 고정된 사진이다. 지그를 삽입한 각 시험편을 축방향으로 인장하였다. 시험 시 물림장치의 축 이동 속도는 2mm/min으로 설정하였다.

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 시험편 파단

시험 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5는 시험 완료된 시편의 전체 사진이며, Fig. 6은 각 시편의 단면 형상이다.

Fig. 5에서는 모든 시편이 물림부 근처가 아닌 표점거리 안에서 파단 되었음을 확인할 수 있다. 이는 양단에 억지끼워맞춘 지그로 인해 물림부가 가공경화되어 인장 시 표점거리 구간보다 큰 응력에 견딜 수 있기 때문이다, 또한 지그와 파이프 사이의 마찰상수 증가에 따라 전단응력이 파이프의 인장응력보다 커지게 되고 결과적으로 물림부의 단

면이 표점거리 구간의 단면보다 커지게 된다. 따라서 인장시험 과정에서 물림부가 아닌 표점거리 이 내에서 단면수축이 발생하고 파단이 일어남을 알 수 있다. Fig. 6에서는 시험 후 모든 파이프는 45°로 파단되었고, 단면이 원형을 유지함을 확인할 수 있다. 이는 파이프 양단을 강하게 척으로 물었음에도 원통형인 지그가 파이프에 억지끼워맞춤으로 삽입되어 물림부에 가공경화가 일어나 시편이 타원형으로 변형되는 것을 방지하였기 때문이다.

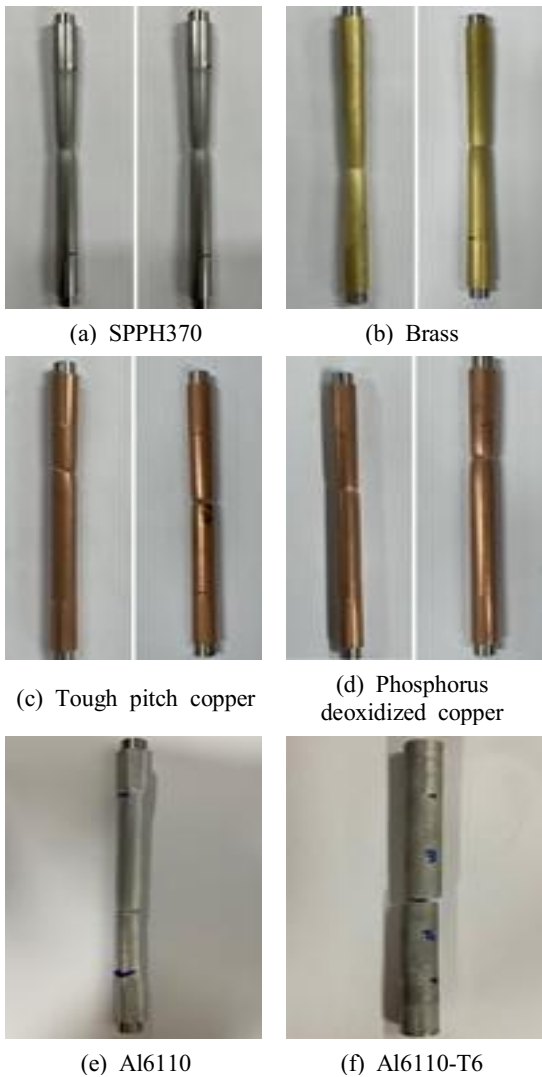


Fig. 5 Result of tensile test

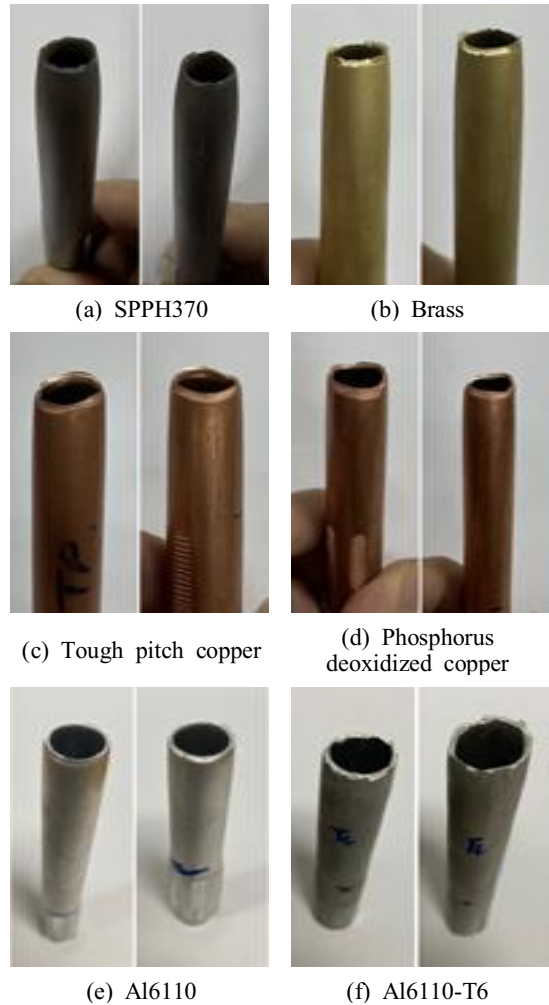
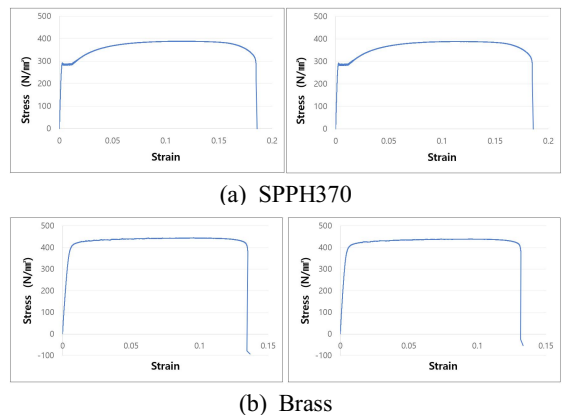


Fig. 6 Cross section of tensile test



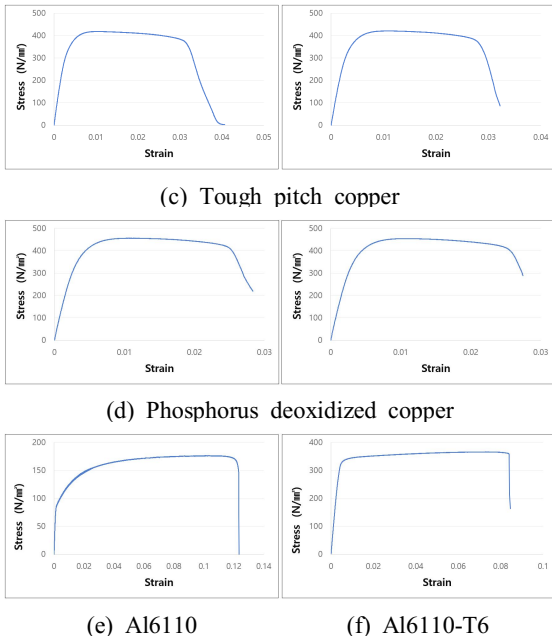


Fig. 7 Stress-Strain curves of tensile test

### 3.2 응력-변형률선도

시험을 통해 얻은 각 시험편의 응력-변형률선도는 Fig. 7과 같다. 모든 그래프가 항복점 이후 연신되다가 파단에 이르는 것을 볼 수 있다. 이는 항복 이후 바로 파단되는 취성재료와는 다른 연성재료의 특징적인 현상으로, 시험결과가 이론과 부합함을 알 수 있다.

SPPH370 시험편의 경우는 특히 상항복점과 하항복점이 명확하게 나타나고, 이는 탄소강 소재의 응력-변형률선도와 일치함을 알 수 있다. 이 경우에는 시험편의 형상, 하중속도 등의 미소한 변화를 고려하여 안정한 하항복점을 항복응력으로 간주하는 것이 일반적이다. 한편, 나머지 시험편처럼 항복점이 명확하게 나타나지 않는 금속 재료에서는 항복응력을 일정한 크기의 소성변형률( $\epsilon = 0.2\%$ )이 생겼을 때의 내력( $\sigma_{0.2}$ , proof stress)으로 정의한다.

그런데 Al6110과 Al6110-T6 시험편의 경우, 같은 알루미늄 합금이더라도 응력-변형률선도의 항복지점에서 매우 상이함을 확인할 수 있다. 이는 실용재료인 Al6110-T6는 항복응력에 미치는 인자로서 열처리를 수행했기 때문이다. 용체화 처리 후 인공

Table 2 Experimental results of tensile test

	Maximum Elongation (mm)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
SPPH370	31.2	285.9	388.5
	31.2	285.9	388.5
Brass	22.5	392.4	443.2
	22	390.9	438.5
Tough pitch copper	5.3	379.2	417.9
	4.8	379.9	420.8
Phosphorus deoxidized copper	4.3	412.1	456.3
	4.3	411.1	454.7
Al6110	20.7	96.0	175.8
Al6110-T6	12.8	301.9	330.5

시효 처리를 함으로써 재료는 연화되어 강도는 향상되지만 가공경화는 현저히 줄어들음을 확인할 수 있다.

측정된 각 시험편의 최대연신, 항복강도, 인장강도는 Table 2에 정리하였다. 재료의 화학적 조성에 따라 다르지만 강도 측면에서 대체적으로 조사한 기계적 물성값(Table 1)과 일치함을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 연구는 파이프의 인장시험 중 단면 형상이 변하거나 물림부 근처에서 파단이 발생하는 현상을 방지하기 위해 시험편의 물림부에 원형의 지그를 억지끼워맞춤하여 가공경화를 발생시킴으로써 시험시 단면이 타원으로 변형됨을 방지하고 물림부가 표점거리보다 큰 응력에 견딜 수 있도록 하는 인장시험법을 수행하였다. 또한 인장시험시 네킹현상과 같은 임계응력을 파악하기 용이한 연성이 높은 금속 소재의 시험편을 사용하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인장시험 결과 시편 모두 봉재 인장시험의 경우처럼 표점거리 안에서 파단이 일어났다. 또한 연성재료 인장시험에서 나타나는 목(neck) 부분이 잘 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 지그를 삽입한 인장시험법이 타당함을 알 수 있다.

2. 인장 후 파단면의 형상을 보면 원형을 유지하였고, 인장 시험 중 단면이 수축하여 목(neck)을 형성 후 최종적으로 45°로 파단되었다. 이는 연성재료의 이상적인 인장 시험 결과로 볼 수 있다.
3. 시험 후 응력-변형률선도를 얻었다. 모든 시험편의 그래프가 항복점 이후 연신되다가 파단에 이르는 것을 볼 수 있었다. 이는 연성재료의 특징적인 현상으로 시험결과가 이론과 부합함을 알 수 있었다.
4. SPPH370 시험편의 경우, 상항복점과 하항복점이 뚜렷하게 나타났다. 즉, 시험결과가 탄소강 재료의 응력-변형률선도의 양상과 부합함을 알 수 있었다.
5. 알루미늄 합금 시험편의 경우, 응력-변형률선도의 항복지점에서 상이함을 확인하였다. T6열처리하는 항복응력에 미치는 인자로서 재료를 연화하여 강도를 향상시키지만 가공경화성을 저하시킨다. 따라서 시험결과가 이론과 부합함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 관 형상 시험편의 기존 인장시험보다 정확한 기계적 강도를 얻고자 적절한 지그 삽입 인장시험법을 제시하였다. 또한 다양한 연성 금속 재료의 시험편으로 인장시험을 수행하여 제시한 인장시험법을 검증하였다. 본 연구의 결과를 토대로 이후의 연구에서는 유한요소 해석과 시험 결과를 비교하여 제시한 인장시험법의 신뢰성을 증명하고자 한다.

## REFERENCES

1. Park, J. G., Ahn, D. C., Nam, J. B., Kim, Y. S., "State of art for biaxial tensile tests", Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp. 317-322, 2010.
2. Park, K. G., Park, S. M., "Testing Method of Tension Strength for Architectural Membrane Material" Journal of the Korean association for shell and spatial structures, Vol. 7, No. 4, pp. 5-13, 2007.
3. Kim, H. M., Choi, S. B., Baek, K. H., Lee, E. S., Lee, K. S., Hong, H. R., Moon, H. W. and S. W., "Development of a uniaxial tensile testing technique considering the structural characteristics of rubber-reinforced yarn composite materials", Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp. 211-211, 2018.
4. Lee, W. C., "Experimental Comparison Between Shear, Tension, and Bending Strengths of Ceramic/Metal Joints," Korean journal of metals and materials, Vol. 33, No. 8, pp. 1036-1039, 1995.
5. Kim, S. D., Chu, S. B., Jang, M. H., Lee, J. H., "Tensile Characteristics of ETFE Film According to the Specimen Type." Journal of the Korean association for shell and spatial structures, Vol. 17, No. 4, pp. 159-165, 2017.
6. You, Y. J., Park, K. T., Seo, D. W., Hwang, J. H., "Experimental Study on GFRP Reinforcing Bars with Hollow Section," Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 19, No. 1, pp. 45-52, 2015.
7. Park, J. M., Seo, H. S., Kwon, M. H., Lim, J. H., "Experimental Study on the Material Characteristics of Glass Fiber Composites." Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, Vol. 5, No. 1, pp. 16-21, 2014.
8. Kim, H. S., Kim, S. H., Ryu, W. S., "Research Papers : Mechanical Behavior ; Finite Element Analysis for Instability and Necking Behaviour of Tensile Specimens," Korean journal of metals and materials, Vol. 42, No. 8, pp. 662-666, 2004.
9. Seon, D. J., Park, M. G., Park, S. M., Choi, Y. T., "Prediction of elastoplastic fracture toughness of simple tensile specimens using the finite element method," Proceedings of the Fall Conference of the Korean Society of Automotive Engineers, pp. 946-951, 1997.
10. Choi, I. S., Um, J. G., Lee, M. C., Jeon, M. S., "Analysis of Tensile Test by Finite Element Method in Jiangsu Province," Korean Society of Mechanical Engineers Spring-Autumn Conference, pp. 37-45, 2006.