

구리재질 세관(細管)의 인장시편 형상에 대한 고찰

김성영*, 김형익, 조성근(성균관대 대학원), 배봉국, 석창성(성균관대 기계공학부),
이재권, 모진용, 박득용(삼성전자)

An Investigation of Tensile Specimen Appearance for Slender Tubular Products by Copper

S. Y. Kim, H. I. Kim, S. K. Cho, B. K. Bae, C. S. Seok(Mech. Eng. Dept., SKKU),
J. K. Lee, J. Y. Mo, D. Y. Park(Samsung Electronics)

ABSTRACT

The tensile test is generally used to measure mechanical properties with conventional fracture tests. This test is extremely certain method to measure Young's modulus, yield strength, tensile strength and so on. ASTM, by international standard, prescribes two classes of tensile tests in tubular products. One is method that specimens aren't done by any process with Tube-shape. The other is that specimens are made on process for C-shape. In this paper, we would like to present the new-shape specimens for the tensile test. The presented specimen's shape is that put two pieces of C-shape specimens together. Besides a load point and a support point are fixed like Tube-shape specimens. This shape of specimen has a difference that existing specimen is made on one-step process but this specimen is made on two-step process. This shape is considered that stress concentration phenomenon occurs at the reduced section if a specimen is made on one step process.

Key Words : Tensile test (인장시험), Copper Pipe (동파이프), Specimen shape (시편 형상), Tube-shape (튜브형)

1. 서론

각종 기계 및 구조에서 사용되는 배관은 주로 압출, 인발등의 공정을 거쳐 만들어진다. 이러한 생산 공정을 거친 배관의 물성치는 잔류응력 등의 영향으로 가공 전 원소재의 물성치와 많은 차이를 나타낸다. 따라서, 파괴실험을 통하여 가공 후 배관의 물성치를 확보하여야 제품 설계시 신뢰성을 확보할 수 있다.

현재 인장실험은 주로 ASTM(American Society for Testing and Materials) 이 규정하는 방법으로 실행되고 있다. ASTM 규정에 의하면 시편의 채취와 실험이 어려운 가늘고 긴 관(세관, 細管)의 경우 가공하지 않고 시험하는 Tube형 시편을 사용하는 방법과 시편 가공을 거친 C형 시편을 사용하여 시험하는 방법을 제시하고 있다.

본 논문에서는 인탈산 동(C1220T-0, KS D 5301 규격⁽¹⁾)재질로 된 두께 0.7mm, 외경 7mm, 9.52mm

(3/8inch), 12.7mm (1/2inch)인 범용 세관을 사용하여 ASTM에서 제시하고 있는 인장시험 시편으로 시험을 할 경우 발생하는 문제점을 파악하고, 새로운 형상의 인장시편을 제안하고자 한다.

2. ASTM 규정에 의한 인장실험

2.1 ASTM에서 규정하고 있는 실험 방법 및 시편형상

ASTM E8M⁽²⁾에 의하면, 세관인 경우에 인장 시편의 형상은 표준으로서 별다른 가공없이 insert를 삽입하여 실험을 하는 Tube형 형상과 길이방향으로 채취한 시편에 평행부를 만든 C형 형상이 있다.

ASTM 규정에 의하면 Tube형 인장시편을 사용하여 실험할 때에는 insert로 인한 노치가 발생하지 않도록 규정하고 있는 치수의 insert를 사용하여 시험기의 jaw에 고정하여야 하며, 연신율은 5D이상의 길이에서 측정되어야 한다.

또한, C형 인장시편을 사용하여 인장실험을 할 때에는 Fig. 2와 같은 형상으로 시편과 같은 폭면을 가진 grip을 사용하여 실험을 하도록 하고 있다. 그러나 폭면을 가진 grip을 사용할 수 없을 때는 시편의 끝을 가열 없이 편평하게 한 후 jaw에 고정하도록 규정하고 있다.

Fig. 1에는 Tube형 인장시편을 사용하여 인장실험을 수행할 경우, ASTM에서 규정하고 있는 insert의 형상과 jig에 장착되어진 시편을 나타내고 있다.

Fig. 2에는 ASTM에서 규정하고 있는 C형 시편의 형상을 나타내었다.

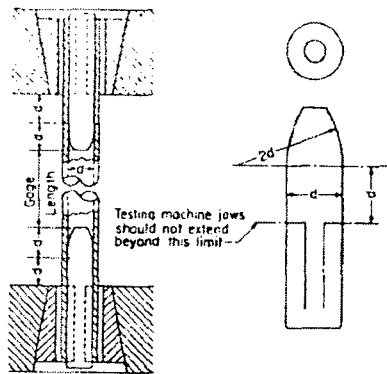


Fig. 1 Installed Tube-shape specimen depend on ASTM

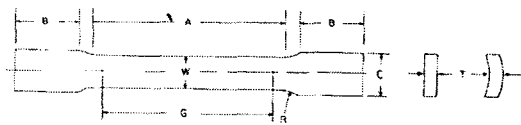


Fig. 2 The demension of C-shaped specimen depend on ASTM

2.2 문제점

Tube형 인장시편을 잡아주는 grip은 시험도중 시편을 고정시키기 위해서 톱니 모양으로 jaw를 가공하는데 이로 인한 노치의 영향을 없애야만 한다. 따라서 Fig. 3과 같은 인장시험용 jig를 가공해야만 한다. Fig. 4는 제작한 인장시험용 jig의 모습을 나타낸 것이다. Fig. 5는 이러한 인장시험용 jig를 이용하여 인장실험을 수행한 후의 Tube형 시편의 모습을 나타낸 것이다.

C형 인장시편을 사용하여 실험을 수행할 경우에는 Fig. 6의 표시부분과 같은 응력 집중이 발생하게 되어 Fig. 7과 같이 단면 감소부에서의 파단이 빈번하게 발생한다. 본 논문에서 수행한 C형 시편을 이용한 인장실험은 총 6회 중 3회가 단면 감소부에서 파단이 일어났다.

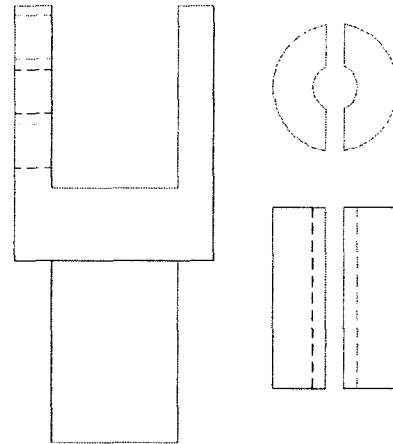


Fig. 3. Tensile test jig for Tube-shape specimen

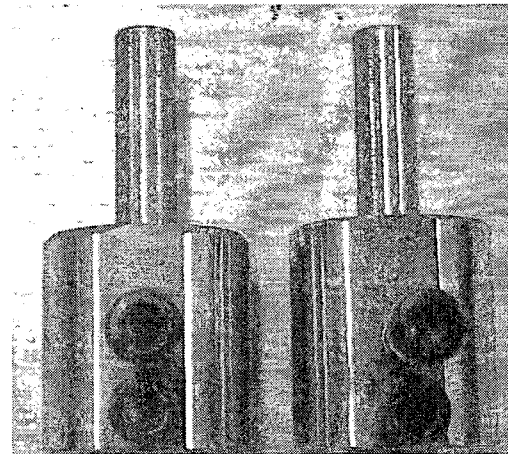


Fig. 4. Tensile test jig for Tube-shape specimen

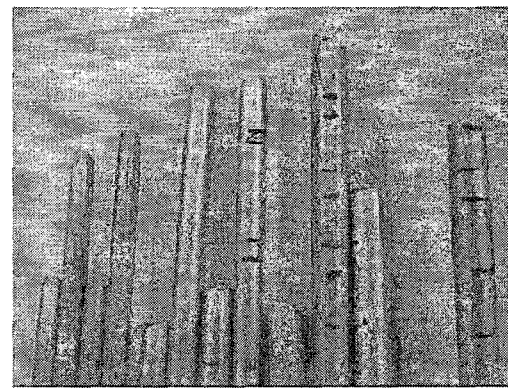


Fig. 5 Tube-shape specimens after test

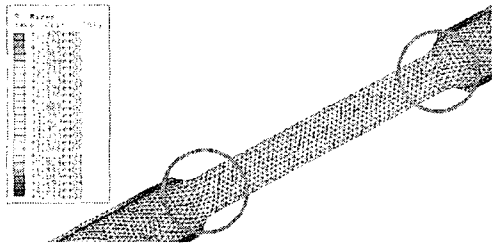


Fig. 6 Result of finite element analysis for C-shape specimen by ABAQUS ver 6.4

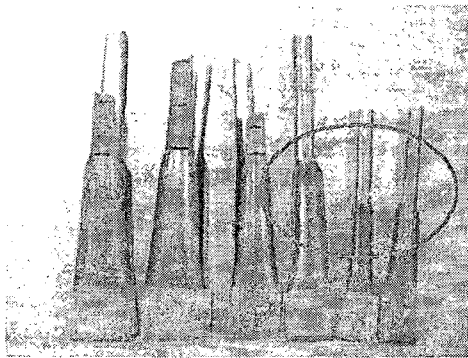


Fig. 7 C-shape specimens after test

3. 제안하고 있는 인장시험

3.1 시편형상 제안

본 논문에서 제안하는 인장시편의 기본형상은 ASTM에서 제시하고 있는 2가지 시편 형상을 접목시켰으며, ASTM의 시편 규격을 준수하여 제작되었다.

구체적인 시편 형상은 C형 시편 2개를 맞붙여 놓은 형상으로 Tube형 인장시편으로 실험할 때와 마찬가지로 jaw에 고정되는 부분에는 insert를 삽입하였다. 이 방법은 하중선과 도심을 일치시키기 어려우며 단면 감소부에서 파단이 일어나기 쉬운 C형 인장시편의 단점과 간섭이 발생하지 않도록 정확한 치수로 insert를 가공해야 하며 jaw의 톱니부분으로 인한 노치 파단이 일어나기 쉬운 Tube형 인장시편의 단점을 보완한 방법이다. 제안한 시편의 형상으로 인장 실험을 수행한 결과, Fig. 8에서와 같이 총 5개의 시편 중 5개 모두 C형 시편과 마찬가지로 단면 감소부에서 파단이 일어났다. 이러한 결과를 바탕으로 인장시편의 모양을 2단 가공형태로 변경하여 유한요소 해석으로 검토하였다. 그 결과 Fig. 6에서와 같이 응력집중이 발생하긴 하지만, Fig. 9에서와 같이 그 정도가 1단 가공정도에 비해 훨씬 미약하였다. 이러한

2단 가공형태의 인장시편을 제작하여 각 외경별로 총 12개의 인장실험을 수행한 결과, Fig. 10과 같이 12개 모두 평행부에서 파단이 일어났다.

따라서 본 논문에서 제안하고 있는 시편의 최종 형상은 C형 시편 2개를 맞붙여 놓은 모양으로 하중점과 지지점의 형상은 Tube형의 하중점과 지지점을 따랐으며, 단면 감소부는 2단 가공을 통하여 기존의 1단 가공시편에서 나타나는 응력의 집중을 피할 수 있도록 하였다.

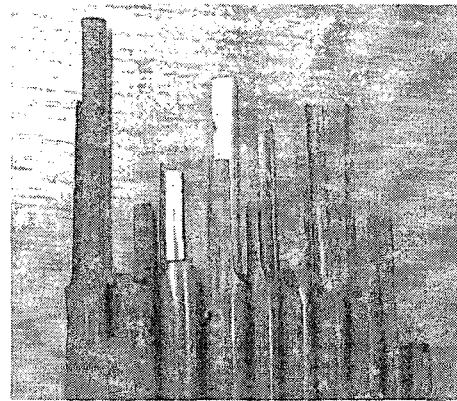


Fig. 8 Proposing specimen shape after test (1 step)

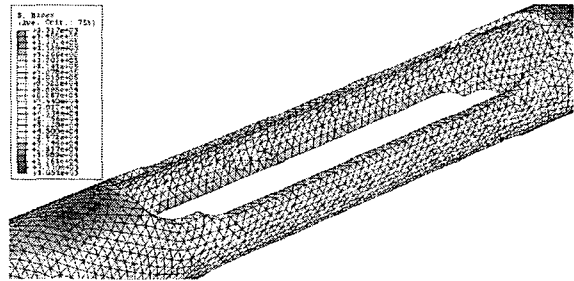


Fig. 9 Result of finite element analysis for proposing specimen shape by ABAQUS ver 6.4 (2 step)

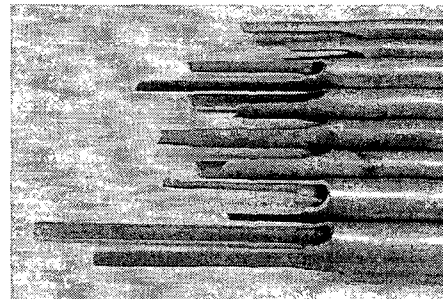


Fig. 10 Proposing specimen shape after test (2 step)

3.2 2단계공 시편형상의 장점

본 논문에서 제안하고 있는 시편형상은 ASTM에서 규정하고 있는 2가지 형상을 접목시킴으로써 이전의 시편형상으로 인장실험을 할 경우 나타날 수 있는 노치와 응력집중 등의 문제점들을 보완하였다.

4. 제안된 인장시편의 타당성 검토

4.1 결과 비교

앞서 실험한 결과들을 비교해본 결과, 제안하고 있는 시편형상으로 실험한 결과는 ASTM에서 표준으로 규정하고 있는 Tube형 인장시편의 결과와 다소 차이는 있으나 비교적 일치하며, 인장강도는 오차범위(약 5%)이내에서 일치하는 것으로 나타났다. 이에 비해 C형 인장시편의 경우에는 인장강도 및 연신율에서 약간 차이를 보였다. Fig. 12~13에 화살표로 표시한 선도는 단면 감소부 파단으로 인하여 부정확한 연신율을 나타내었다.

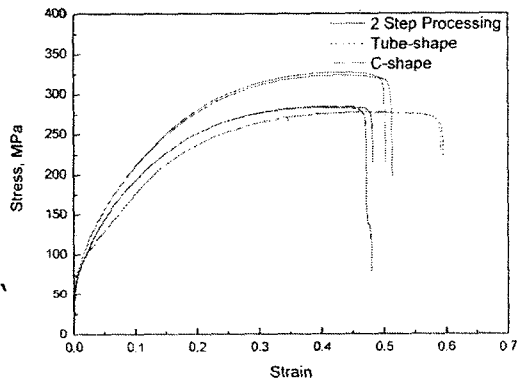


Fig. 11 Engineering Stress-Strain Curve (Diameter 12.7mm)

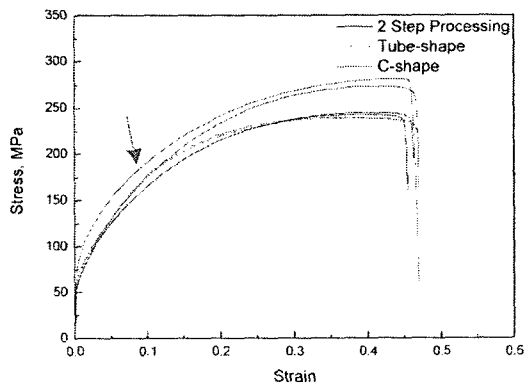


Fig. 12 Engineering Stress-Strain Curve (Diameter 9.52mm)

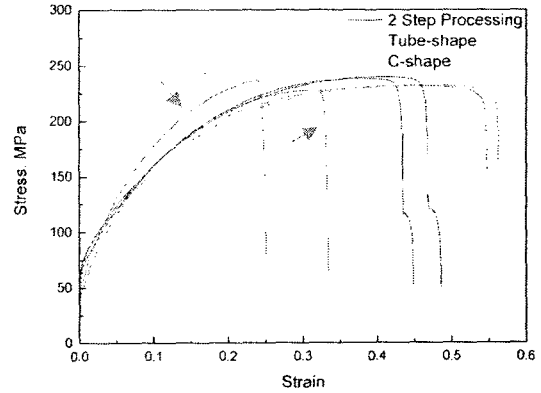


Fig. 13 Engineering Stress-Strain Curve (Diameter 7mm)

5. 결론

ASTM에서 제안하고 있는 시편형상으로 실험한 결과와 이 논문에서 제안하고 있는 시편형상으로 실험한 결과를 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 실험결과 인장강도는 정도의 차이가 있으나 오차범위 5% 이내로 비교적 일치하였다.

(2) Tube형 시편은 해석상 문제는 없었으나, 실험 시에는 노치 민감도가 심하므로, 지그, 그립 및 insert 제작시 세심한 주의가 필요하다.

(3) 유한요소 해석결과 C형 시편은 단면 감소부에서 응력 집중이 발생하였고, 실험 시 응력 집중 부위에서 파단되는 사례가 여러 차례 발생하였다. 또한 도심을 계산하여 그 위치와 하중선을 일치시켜야 되므로 jig 제작 시 정확한 치수계산이 요구된다.

(4) 제안된 2단 가공 시편은 해석상 응력 집중이 발생하기 하지만, 그 정도가 C형 시편에 비해 훨씬 미약하고, 실험 시 응력 집중 부위에서 파단되는 사례가 발생하지 않았다. 또한, 따로 jig 및 grip부를 제작하지 않고 Tube형과 같이 insert를 제작하여 일반적인 원형 시편인 grip에 체결한 후 실험하여도 된다. 이 때 정확한 치수계산, grip부 노치 및 insert 간섭에 대한 영향을 고려하지 않아도 된다.

후기

이 논문은 성균관대학교 산하 미래가전연구센터와 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

1. "Copper and copper alloy seamless pipes and tubes "
KS D 5301, KS 규격집, 2003. 04.

2. "Standard Test Method for Tension Testing of
Metallic Material" ASTM E8M-01, pp. 7-9. 2001.