

전조공법을 이용한 동관의 하이핀 튜브 제조 공정에 대한 연구

김태규[†]

밀양대학교

A Study on the Manufacturing Process for High-finned Tube of Copper Pipe using Roll Forming Method

Tae-Gyu Kim[†]

Miryang National University

(2005년 12월 7일 접수, 2006년 1월 31일 최종수정본 접수)

Abstract High-finned tubes have good thermal conductivity and have better cooling efficiency than plain tubes or low-finned tubes due to bigger air contact area. During high-finned tubes are manufactured by roll forming, the main technique is illustrated to optimizing primary material(copper pipe), optimized die matrix designing technique for roll forming, control manufacturing speed to develop productivity etc. In this study, a roll forming system was developed in order to produce high-finned tube. Also a multi-step roll forming die was designed & built to produce high-finned tube that has over 10 mm fin height. And then, roll forming test using copper pipe was performed to produce high-finned tube. Roll forming process for producing high-finned tube was optimized by analyzing and adjusting microstructure, hardness, and surface roughness of roll formed high-finned tube.

Key words fin tube, high-finned tube, low-finned tube, roll forming, roll forming disk.

1. 서 론

열교환기, 냉방기, 가스터빈 쿨러 등의 냉각 효율을 올리기 위해 다양한 방법이 사용되고 있으며, 그 중에서도 핀에 핀 형상을 내어주어 방열 면적을 넓게 하는 방법이 널리 사용되고 있다. 이 때 핀의 높이가 높을수록 공기와의 접촉 면적이 넓어지므로 방열 효율이 향상되는 특성을 가지고 있다.

방열핀(fin tube)의 냉각 효율은 핀 형상, 핀 높이, 사용재료 등에 많은 영향을 받으며, 이에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다. C.P. Tso 등¹⁾은 방열핀의 핀 뿌리부의 형상과 두께가 열교환기의 방열 특성에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 연구하였고, W. Pirompugd 등²⁾은 평판형 방열핀의 열교환 특성에 대해 연구하였다. 이 밖에도 방열핀의 열효율 특성에 관한 연구들은 많이 찾아볼 수 있으나,³⁻⁷⁾ 방열핀의 제조공정에 관한 연구는 거의 찾아볼 수 없다.

방열핀의 제조 공법으로는 다양한 방법을 사용할 수 있으나, 최근에는 두께가 두꺼운 핀을 전조가공에 의해 핀과 관을 완전 일체형으로 생산하는 전조공법이 많이 이

용되고 있다.

전조공법에 의한 하이핀 튜브의 제조 시 핵심 기술로서는 가공 전 핀 소재의 최적화 기술, 전조가공을 위한 최적 급형형상 설계 기술 및 생산성 향상을 위한 생산 속도 제어기술 등의 중요한 기술을 들 수 있다.

본 연구에서는 전조 공법으로 하이핀 튜브를 제작하기 위한 전조기 시스템을 개발하였다. 또한 핀높이 10mm 이상의 하이핀 튜브를 제작하기 위한 다단 전조 다이들 설계/제작하고, 동관의 열처리 조건과 성분 조건을 다양하게 적용하여 하이핀 튜브 전조실험을 수행하였다. 전조된 하이핀 튜브의 조직, 경도, 치수 및 표면 상태 등을 분석하고 수정함으로써 핀높이 10mm의 하이핀 튜브 전조를 위한 전조 공정을 최적화 하였다.

2. 실험 방법

방열핀은 다양한 종류가 사용되고 있으며, 핀과 관을 완전 일체형으로 생산하는 것으로 Fig. 1(a)와 같이 핀 높이가 5 mm 이하인 것을 로핀 튜브(low-finned tube)라 하며, Fig. 1(b)와 같이 핀 높이가 8 mm 이상인 것을 하이핀 튜브라 한다. 하이핀 튜브는 일반 튜브(plain tube)나 로핀 튜브에 비해 공기와의 접촉면적이 넓어 냉각효

[†]E-Mail : tgkim@mnu.ac.kr

율이 우수한 특성을 가지고 있다.

하이핀 튜브는 튜브와 핀을 서로 브레이징 용접하여 생산하는 Fig. 1(c)의 랩온튜브와 구분되며, 로핀튜브나 랩온튜브에 비해 열전도 특성이 우수하므로 짧은 길이의 방열핀으로도 동일한 효율을 나타낼 수 있다.

방열핀의 효율을 향상시키기 위해서 다양한 제조공법이 개발되고 있으며, 핀 높이가 낮은 로핀 튜브의 경우 전조공법에 의해 생산되고 있으며 산업 현장에 많이 활용되고 있다. 핀 높이 10 mm 이상의 방열핀을 생산하기 위해 Fig. 2에 나타낸바와 같이 얇은 동 판재를 절단하여 핀(fin) 형상을 성형하고 동 관과 조립한 후에 고주파용접 또는 브레이징 집합하는 랩온튜브라는 대체용접튜브를 사용하는 방법도 사용하고 있다. 브레이징 또는 고주파 용접에 의해 생산된 핀튜브는 사용 설비의 용도나 규격에 맞게 휘거나(bending) 비틀면(torsion), 피어프와 핀의 집합부에서 용접부 강도의 취약으로 인하여 파손되기 쉽고, 또한 집합부에서 열전도가 제대로 이루어지지 않아 열효율이 낮은 단점이 있다.

하이핀 튜브는 Fig. 3에 나타낸바와 같이 두께가 두꺼운 동관이 3개의 전조 다이를 통과하면서 핀 형상이 성형되도록 하는 일체형 방열핀을 말하며, 핀높이 8 mm까지는 이미 국내에서도 많이 생산되고 있다. 본 연구에서는 핀높이 10 mm 이상 전조할 수 있는 하이핀 튜브의 생산공정 시스템에 관해 연구하였다.

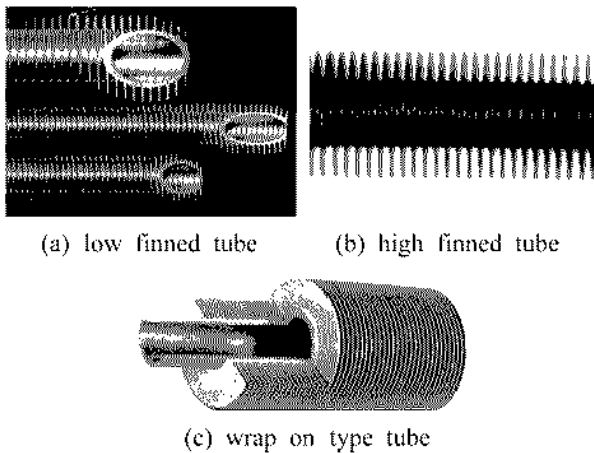


Fig. 1. Types of fin tubes.

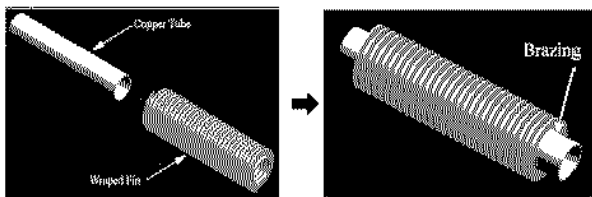


Fig. 2. Manufacturing process of wrap on type tube.

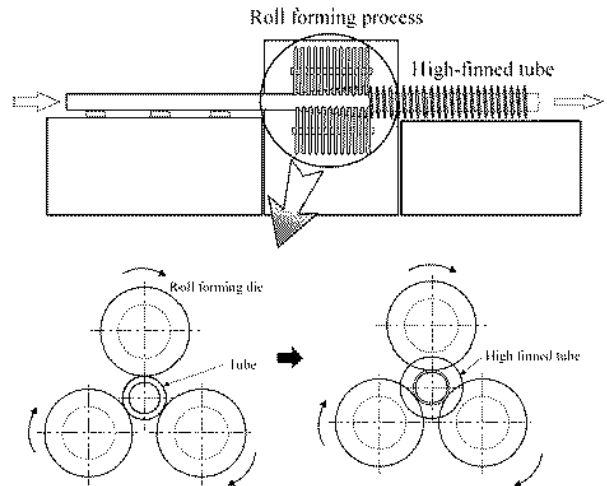


Fig. 3. Manufacturing process of high-finned tube.

3. 결과 및 고찰

3.1 하이핀 튜브의 원소재 분석

하이핀 튜브를 10 mm 이상으로 전조가공하기 위해서는 원소재인 동관의 특성이 매우 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 하이핀 튜브 소재를 개발하기 위해 동관의 화학성분과 조직크기(grain size) 및 경도값을 분석함으로써 요구되는 규격에 부합되는지를 판단하였다. 또한, $\phi 76 \times 8t$ 인 동관을 6단계의 다단 인발 공정을 통해 $\phi 25.4 \times 4.625t$ 가 되도록 하여 원소재를 제작하였으며, 소재의 강도분석과 내부의 조직 분석을 통하여 가장 적절한 하이핀용 소재를 찾고자 하였다.

다단 인발공정으로 생산된 동관을 풀림처리 하고 소재 내부의 조직시험과 인장시험을 통해 분석하였다. 풀림처리 조건으로서는 780°C에서 3분 동안 가열한 후 서냉하였다. Table 1은 하이핀 튜브 소재의 요구특성과 본 연구에서 적용한 하이핀 소재의 특성을 비교하여 나타낸 것이다.

3.2 다단전조다이 설계

고 효율의 하이핀 튜브를 제작하기 위해서는 방열핀 소

Table 1. Required properties of high-finned tubes material.

Classification	Standards	Measurement	
		Chemical	
composition (%)	Cu	< 99.9	99.947
	P	0.015~0.040	0.029
Grain size(mm)		0.040~0.080	0.05
Hardness(HRF)		30	38
Tensile strength(MPa)		205	207
Elongation(%)		40	44

재의 최적화 기술, 전조가공을 위한 최적 금형형상 설계 기술, 전조 시 전조다이의 위치설정 등 다양한 공정설계 변수가 있다. 이 중에서도 다단전조다이의 형상은 매우 중요한 요소라고 할 수 있다.

기존의 8mm 이하의 관튜브를 가공하기 위해서는 동일한 형상의 디스크로서 치수만 다르게 적용하였으나, 본 연구에서는 하이핀 튜브의 전조 과정을 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 3단계로 구분하여 각각 다른 형상의 디스크를 채택하여 핀이 고르게 형성될 수 있는 디스크의 형상 및 치수를 설계하였다.

제1단계는 변형초기 단계로서 핀의 피치에 맞추어 형상을 성형할 수 있도록 성형이 진행됨에 따라 디스크 외경을 점점 크게 하고 끝단부의 각도를 크게 하여 주었다. 제2단계에서는 핀의 높이를 올리면서 두께를 어느 정도 성형할 수 있도록 하기 위해 디스크의 외경을 서서히 증가시켜 주었고, 끝단부 반경을 점점 크게 하여 주었다. 마지막 제3단계에서는 핀부의 두께를 고르게 하고 바닥면의 형상을 완전히 성형할 수 있도록 디스크 끝단부에 폭(F)을 주면서 신단의 R을 아주 작게 적용하였다. 조립된 상태의 전조다이의 형상 프로파일을 Fig. 5에 나타내었다.

3.3 하이핀 튜브 전조 실험

개발된 디스크를 순서대로 조립하여 다단전조다이를 제작하고 전조기에 장착하여 핀높이 10mm 이상을 얻기 위한 전조실험을 수행하였다. 전조기는 구동 모터의 용량을 100마력으로 설계하였으며, 감속기를 거쳐 회전수를 조절할 수 있도록 하였다.

전조시 디스크의 위치가 매우 중요하므로, 디스크의 위치를 정확하게 조절하기 위하여 디스크 위치 조절 장치에 눈금을 내어 주었다. 디스크의 조절 위치는 1번 디스크 다이를 기준으로 2번 디스크를 0.9833, 3번 디스

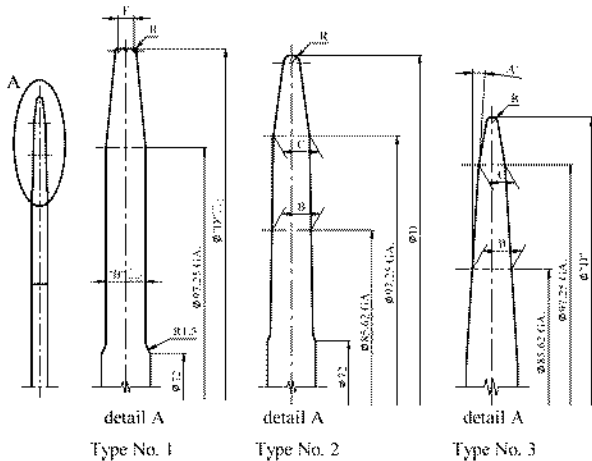
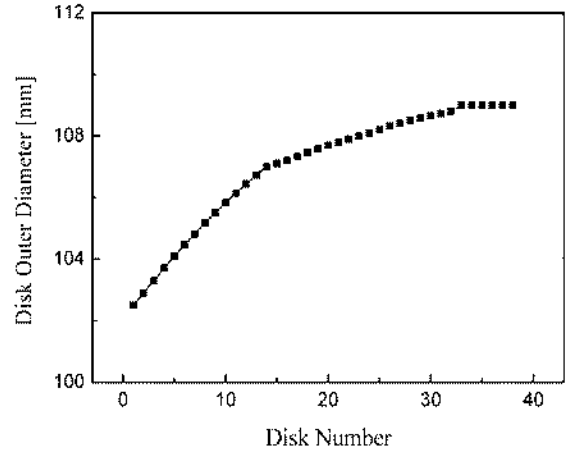


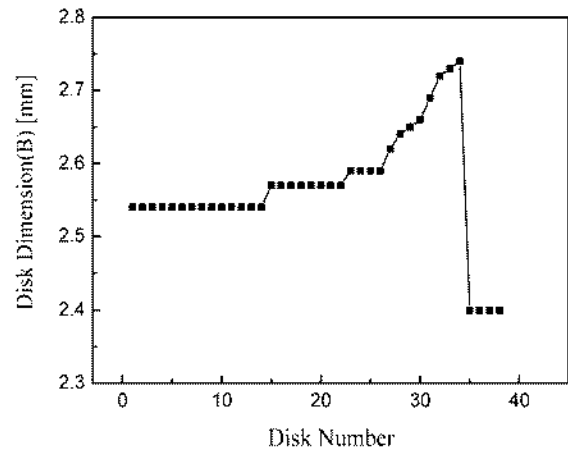
Fig. 4. Shapes and dimensions of roll forming disk.

크를 1.9667이 되도록 하였으며, Fig 6에 디스크 조절 위치를 나타내었다.

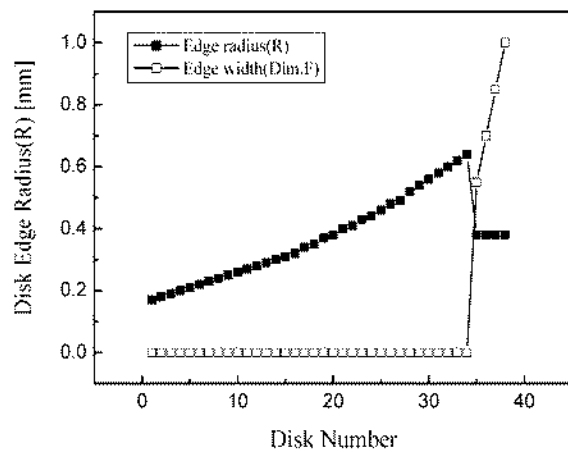
다양한 조건을 적용하여 전조 실험을 수행하고, 전조



(a) disk outer diameter



(b) disk thickness



(c) radius&width of disk edge

Fig. 5. Profile of disk in Fig. 4.

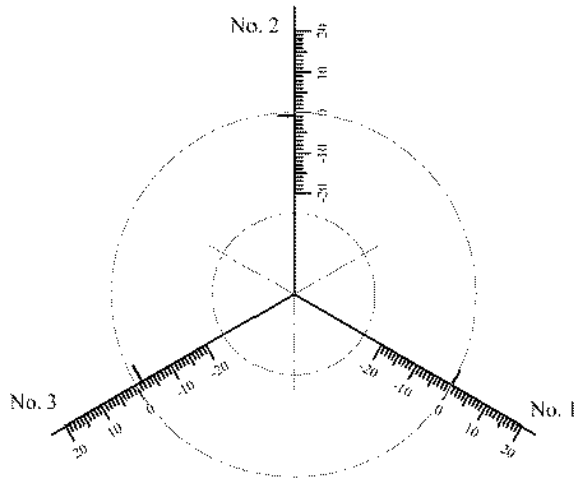


Fig. 6. Positions of control plate for roll forming of high-finned tube.

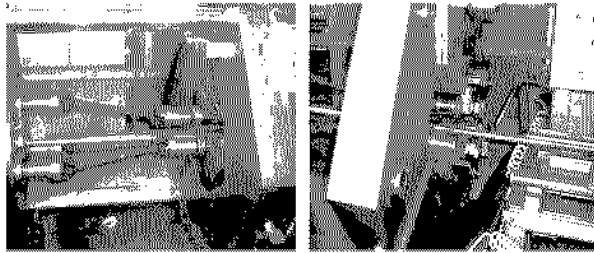


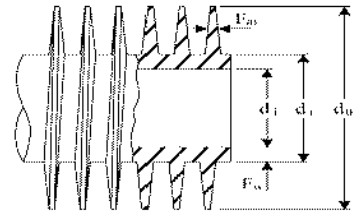
Fig. 7. Roll forming process of a high-finned tube.

된 하이핀 튜브의 치수 및 표면 상태 등을 분석하였다. 이를 전조 디스크 설계에 반영하여 디스크 형상을 변경하고 다시 전조실험을 수행하는 과정을 수회 반복함으로써 최적의 전조공정 조건을 찾을 수 있었다. 하이핀 튜브의 전조실험 사진을 Fig. 7에 나타내었다. 전조공정으로 생산된 하이핀 튜브의 단면 형상을 Fig. 8에 나타내었고, 그 치수를 Table 2에 나타내었다.

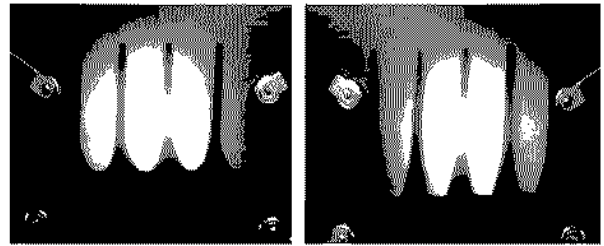
3.4 하이핀 튜브의 시험 및 분석

전조 공정에 의한 금속의 조직 변화를 확인하기 위하여 전조공정 전·후의 동판과 하이핀 튜브에 대한 금속조직시험을 실시하였다.

Fig. 9에 다단 인발 공정을 거친 후 열처리된 원소재와 전조 후 하이핀 튜브의 조직 사진을 비교하여 나타내었다. 원소재의 경우 결정립의 크기가 비교적 균일한 형상으로 나타나 있는 반면, 하이핀의 경우 핀 뿌리부에서는 길이방향으로 일그러져 있고 핀부에서는 핀이 성형

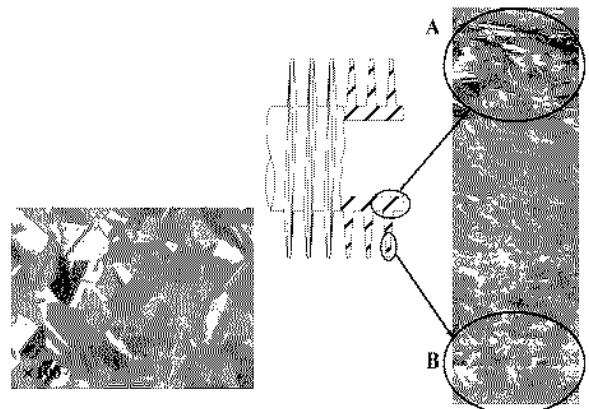


(a) section of high-finned tube

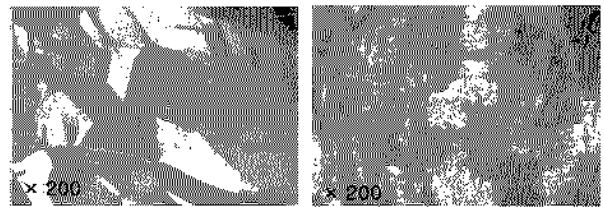


(b) in pasted research (c) in this research

Fig. 8. Section profile of high-finned tube.



(a) initial tube (b) high-finned tube



(c) detail A (d) detail B

Fig. 9. Microstructures of high-finned tube.

되면서 핀 높이 방향으로 변형되어 있는 것을 확인할 수 있다. 특히 끝단부에서는 형상이 심하게 변형되어 있어 가공정화가 크게 나타날 것으로 예측된다. 원소재의 경

Table 2. Dimension of high-finned tube.

	d_i	d_r	F_w	F_m	d_o	h	$z/inch$
measurement dimension	16.08	19.08	1.5	0.41	39.18	10.05	8

우 조직 크기(grain size)가 0.05~0.08 mm 정도로 나타났으며, 전조 후 하이핀 튜브의 결정립 크기는 0.03~0.05 mm 정도로 나타났다.

하이핀 튜브의 전조 전·후에 대한 가공경화 정도를 알아보기 위해 마이크로 비커스 경도를 측정하였다. 정도의 측정은 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 원소재의 경우 바깥 표면과 단면의 원주방향에 대해 측정하였고, 하이핀 튜브의 경우 핀부의 원주방향 및 반경방향에 대해 경도를 측정하였다. Fig. 11에 원소재와 하이핀 튜브에 대한 측정 위치별 경도값을 나타내었다.

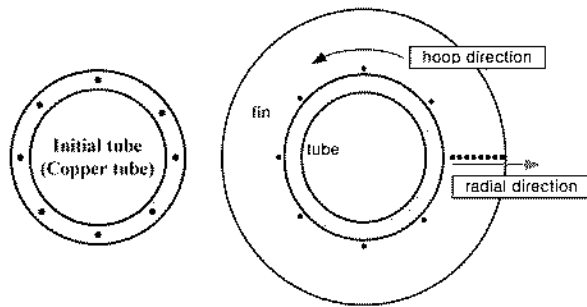
측정된 원소재의 경도값은 바깥 표면이 44.2 Hv이며, 내부 단면이 50.4 Hv로 나타나 바깥 표면이 더 낮게 나타났다. 하이핀 튜브의 경우 반경방향으로는 평균 127.9 Hv이며, 원주방향으로는 평균 115.4 Hv로 나타났다. 하이핀

튜브 뿌리부의 원주방향 경도보다 핀부 반경 방향으로 경도 값이 조금 더 크게 분포하고 있으며, 바깥쪽으로 갈수록 더 커짐을 알 수 있다. 이는 핀이 성형되면서 핀 높이가 방향으로 변형이 많이 발생하여 가공경화 효과로 인한 결과로 분석된다.

4. 결 론

본 연구에서는 열교환기, 냉동기, 가스터빈쿨러 등의 방열관에 사용되는 하이핀 튜브를 제조하기 위한 전조공정에 대한 최적의 공정조건을 찾고자 하였다. 이를 위하여 원소재인 동관의 제조공정을 규정하고, 다단 전조다이를 설계 제작하였으며, 하이핀 튜브 전조실험과 분석을 수행함으로써 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

- 1) 하이핀 튜브의 원소재인 동관을 생산하기 위한 다단 인발가공을 수행하고, 열처리 조건을 확립하였다.
- 2) 하이핀 튜브를 생산하기 위한 전조 디스크의 형상 설계를 수행하고, 다단전조다이의 프로파일 치수를 확립하였다.
- 3) 전조실험을 통하여 하이핀 튜브를 제작하였으며, 전조 전·후에 대한 조직시험과 경도를 분석하여 핀 뿌리부와 핀 끝단부의 변형 정도와 이에 따른 가공경화 특성을 분석하였다.
- 4) 이상의 과정을 조합하여 10 mm 이상의 하이핀 튜브를 생산할 수 있는 전조공정 설계를 확립하였다.



(a) initial tube (b) high-finned tube

Fig. 10. Test positions for hardness test.

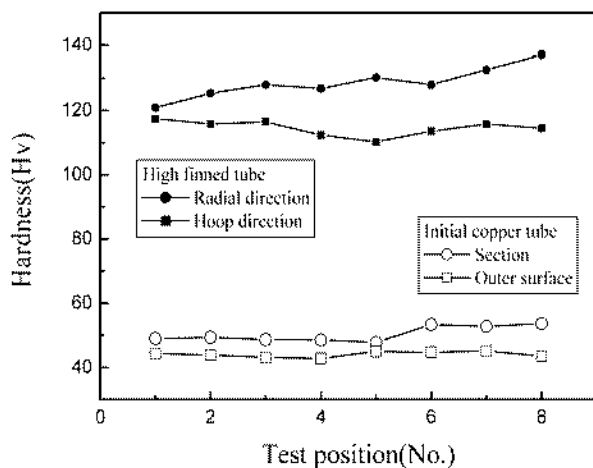


Fig. 11. Hardness of high-finned tube to test position.

참 고 문 헌

1. C. P. Tso, Y. C. Cheng and A. C. K. Lai, Applied Thermal Engineering, 26(1), 111 (2005).
2. W. Pirompugd, S. Wongwises and C. C. Wang, Int. J. of Heat and Mass Transfer, 3, (2005).
3. S. B. Genic, B. M. Jacimovic and B. R. Latinovic, Applied Thermal Engineering, 7, (2005).
4. Q. Yu, A. G. Straatman and B. E. Thompson, Applied Thermal Engineering, 26(2-3), 131 (2005).
5. G. Fabbri, Control Engineering Practice, 13(7), 929 (2005).
6. W. S. Chang, C. C. Wang and C. C. Shieh, Applied Thermal Engineering, 29, (2005).
7. Y. H. Kim and Y. C. Kim, Int. J. of Refrigeration, 28(6), 851 (2005).
8. Metallography and Microstructures, Metals Handbook 9th Ed., ASM Int., Ohio, 775 (2004).
9. N. E. Dowling, Mechanical Behavior of Materials, 2nd Ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey, 139 (1999).