

# 열처리가 냉간가공한 stainless steel wire의 복원양상에 미치는 영향

부산대학교 치과대학 교정학교실

오정세 · 박수병 · 손우성

## 목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 방법
- III. 연구성적
- IV. 고 안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록

## I. 서 론

초기의 교정용 선재는 주로 금을 함유한 귀 금속 재료로 제작되었다. 1929년 austenitic (18/8) stainless steel 선재가 교정용 호선의 형태로 도입되었으며, 1930년대 초 stainless steel band가 사용되었고 1931년에는 fluoride flux가 소개됨으로써 이 선재에 납착을 시행할 수 있게 되었다. stainless steel 선재는 강도가 높고, 높은 탄성계수를 가지며, 구강내에서 부식에 대한 저항이 우수하므로 귀금속 선재를 대신하여 널리 이용되게 되었다<sup>1,2)</sup>.

교정용 선재는 구강내에서 우수한 기능적, 심미적, 화학적, 기계적 특성이 요구되는데 특히 탄성한계와 탄성을 및 최대 휨성이 요구조건에 적합하여야 한다<sup>3,4)</sup>. 1960년대 이후 금속학의 발달로 교정용 선재에 사용되는 재료의 종류가 늘어나, 오늘날에는 stainless steel 선

재 외에도 크롬 코발트계, 니켈 티타늄계, 베타 티타늄계 등을 사용하고 있다. 금속조성의 다양화 뿐만 아니라 여러가지 단면 형태와 여러가닥을 꼬은 형태의 선재도 개발되었다<sup>5)</sup>.

교정용 선재를 굽힐 경우 내부응력(internal stress)이 발생한다. 이런 응력은 원자격자구조(atomic lattice structure)의 불균일성에 의해서 발생되며 새로이 형성한 선재에서 발생하는 복원양상(creep to original position)의 원인이 될 수 있다. 이러한 형태에서의 점진적인 복원양상을 elastic memory라고 하며 굽혀진 선재의 변형을 일으켜 원하지 않는 치아이동을 야기할 수 있다. 실온에서 elastic memory는 점진적으로 이루어진다. 응력제거를 위한 저온 열처리(low temperature heat treatment)는 선재의 기계적인 성질을 개선할 뿐 아니라, 이런 elastic memory 과정을 촉진하여 선재의 형태를 안정시킨다<sup>6)</sup>. stainless steel 선재를 열처리하였을 때의 항복강도, 탄성도, 파절강도 등의 변화에 대해서는 많은 연구가 있었다<sup>8-21)</sup>.

stainless steel 선재는 냉간가공 혹은 소성 변형에 의해서만 단단해진다<sup>6,7)</sup>. 따라서 선재에 형태를 부여하면 탄력성은 감소하게 된다. 탄력성은 선재에서 힘을 발휘하는 요인이며, 치아를 움직이는 힘을 저장하기 때문에 중요하다. 이와 같이 어떤 형태로 형성된 선재의 기계적 성질을 개선하기 위해 저온열처리가 제안

**Table 1.** Summary of wire groups used in present study

	round wire (0.018 inch)	rectangular wire (0.019 X 0.025 inch)
non heat treatment	A	E
furnace heat treatment	B	F
electric current heat treatment	C	G
bending after heat treatment	D	H

: each group consisted of 10 specimens

되었다<sup>7)</sup>.

일반적으로, stainless steel 선재에서 300°C ~ 500°C의 저온열처리는 선재의 탄성도를 증가시킨다고 한다. Funk<sup>9)</sup>는 V-shaped loop의 인장시험에서 850°F에서 3분간 열처리한 경우 탄성도가 가장 크게 증가되고 영구변형이 작게 일어난다고 하였다. Backofen과 Gales<sup>10)</sup>, Kelmer<sup>24)</sup>, Ingerslev<sup>8)</sup>, Mahler와 Goodwin<sup>15)</sup>, Burstone과 Baldwin<sup>11)</sup>, Lane과 Nikolai<sup>16)</sup>, 박과 유<sup>2)</sup>, 권과 손<sup>18)</sup>, 이<sup>19)</sup>, 이<sup>20)</sup>, 정과 양<sup>21)</sup>들은 열처리 후에는 선재의 탄성도와 탄성영역이 증가하나 탄성율은 큰 변화가 없었다고 보고하였다. Howe 등<sup>13)</sup>은 700°F~900°F에서, 5~15분간 열처리하면 항복강도가 크게 증가되며 20%~40% 정도의 잔류응력이 제거된다고 하였다. Goldberg등<sup>17)</sup>은 1010°C, 5분간의 열처리에 의해 탄성율과 항복강도가 감소됨을 보고하였다. Khier 등<sup>14)</sup>은 X선 회절법을 이용하여 열처리 후 선재의 내부구조가 austenitic phase로 변하는 것을 관찰하였으며 선재의 기계적 성질 개선과 연관지었다.

지난 40여년간의 looped wire에 대한 열처리의 연구에서 나타난 3가지 중요한 기계적 성질의 개선은 탄성도(elastic stiffness), 탄성한계(elastic limit load), 및 탄성영역(elastic range)의 증가이다<sup>16)</sup>. 이러한 선재의 기계적 성질을 개선하기 위해 열처리를 권장하고 있으나 열처리로 인해 elastic memory가 축진된 결과 강선의 형태에 급속한 변화가 발생한다<sup>6)</sup>. 냉간가공된 선재의 내부응력에 의한 점진적인 복원양상과 응력제거를 위한 저온 열처

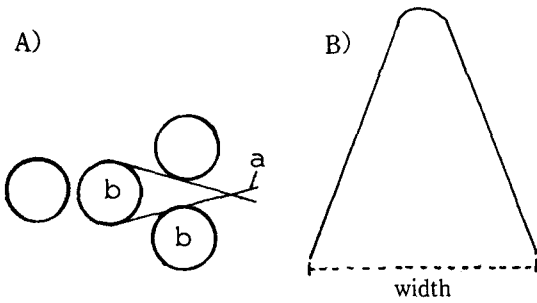
리에 의해 발생하는 강선의 형태 변화에 관한 연구<sup>22,23)</sup>는 많지 않다. Durr 등<sup>22)</sup>은 코발트 크롬 선재에서 냉간가공을 받은 시편은 서서히 복원되나 열처리한 시편은 형태의 안정성을 나타내었다고 보고하였다. Hazel 등<sup>25)</sup>은 굽혀진 선재에서 발생하는 교정력이 시간이 경과함에 따라서 감소되었으며 열처리에 의해 이러한 힘의 감소현상이 많이 해소되었다고 보고하였다.

현재 stainless steel 선재에서 형태 형성 후에 일어나는 형태 복원양상과 열처리에 의한 선재의 변형에 관련한 연구는 미흡한 편이며, 이것에 의한 원하지 않는 치아이동에 관한 연구가 필요할 것으로 사료되었다. 본 연구는 교정용 stainless steel 선재의 냉간가공 후 일어나는 형태 복원양상과 열처리의 영향을 파악하기 위하여 시행되었다.

## II. 연구재료 및 방법

연구재료로는 stainless steel 선재인 0.018 inch round wire와 0.019×0.025 inch rectangular wire(ORMCO stainless steel wire)를 사용하였다. 시편은 85 mm 길이의 직선 선재로 제작하였다. 실험군은 두 종류의 선재에서 열처리 방법에 따라 비열처리군, 전기로 열처리군(electric furnace heat treatment group), 전류 열처리군(electric current heat treatment group), 열처리된 직선 선재를 굽힌군(bending after heat treatment group)으로 나누어졌다(표 1).

Lane과 Nikolai<sup>16)</sup>에 의하면 looped wire의



**Fig. 1.** Bending jig and shape of formed specimen

**A) Bending jig, superior aspect**

a: stainless steel wire

b: metal post (diameter: 9.5mm, 4.0mm apart)

**B) Shape of formed specimen: The width of two free ends was measured by caliper**

전기로 열처리와 전류 열처리는 선재의 탄력성을 비슷하게 증가시키기 때문에 열처리 효과면에서 두 방법 사이에 차이가 없다고 하였다. 그러나 Thruow<sup>6)</sup>에 의하면 전류 열처리는 loop 부위에서 과열을 야기하므로 전기로 열처리 보다는 선재의 기계적 성질 개선에 불리하다고 하였다. 따라서 전기로 열처리와 전류 열처리가 형태적인 안정성에서 어떤 차이를 보이는지를 알아보기 위해서 두가지 열처리 방법을 사용하였다. 그리고 선재의 단면 형태에 의해서 굽힌 후 일어나는 선재의 복원양상이 다른지 알아보기 위해 원형과 각형 선재를 사용하였으며 열처리한 선재를 굽힌 경우 일어나는 복원양상도 측정하였다.

시편의 형성은 jig(그림 1)을 이용하였다. jig에 선재를 굽혀 넣은 후 3분간 유지하였다.

비열처리군은 선재를 jig에서 굽힌 후 아무런 처리를 하지 않았으며 형성된 시편 양단의 거리를 측정하였다.

전기로 열처리군은 시편을 형성한 직후 폭경을 측정하고 곧 바로 온도조절 장치가 부착된 전기로(Jelenko Co., Jelcraft LFC)에서 850°F, 5분간<sup>9)</sup> 열처리하였다.

전류 열처리군은 시편을 형성한 직후 폭경을 측정하고 곧 바로 Deluxe polisher(Rocky mountain/orthodontics Co.)에 부착된 열처리부를 이용하여 굽힘을 받은 부분만을 10초간 열처리하였다.

열처리된 직선 선재를 굽힌 군에서는 먼저 직선상태의 선재를 전기로에서 850°F, 5분간 열처리한 후 시편을 형성하여 양단의 거리를 측정하였다.

측정기구는 0.1mm까지 측정할 수 있는 caliper를 이용하였으며 형성된 시편 양단 거리를 유리판위에서 측정하였다.

측정은 jig에서 시편을 제거한 직후, 열처리 후, 1시간, 2시간, 3시간, 4시간 후, 1일, 2일, 3일, 4일, 5일, 6일 후, 1주일, 2주일, 3주일, 4주일 후에 시행하였다.

### III. 연구성적

0.018" 원형 선재의 실험결과는 표 2, 3, 그림 2, 3에 표시하였다.

열처리를 하지 않은 A군은 지속적인 복원양상을 보여주었다. 그 복원양상은 jig에서 제거한 직후부터 1시간 이내에 전체 복원량의 67%가 일어났으며 1주일 이내에 94%가 일어났다.

직선의 선재를 열처리한 후 굽힌 D군은 열처리를 하지 않은 A군과 비슷한 양상으로 복원이 일어났으나 복원량은 열처리를 하지 않은 A군보다는 작게 나타났다.

전기로에서 열처리한 B군과 전류로 열처리한 C군은 비슷한 복원양상을 보였다. 열처리에 형태복원양상의 대부분이 일어났으며, 열처리 이후에는 폭경의 변화가 거의 나타나지 않았다.

폭경의 증가가 유의성 있게 나타난 것은 전기로와 전류로 열처리한 B, C군에서의 열처리 전과 후의 변화와 열처리 후 굽힌 D군에서 첫 1시간 동안의 변화이다.

0.019×0.025" 각형 선재의 실험결과는 표 4, 5, 그림 4, 5에 표시하였다.

열처리를 하지 않은 E군은 지속적인 복원양상을 보였다. 첫 한시간 동안 전체 복원량의

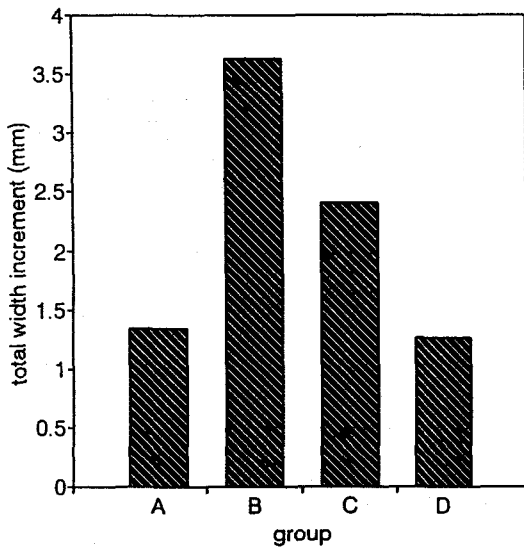


Fig. 2. Comparison of total width increment among A, B, C, D group (0.018")

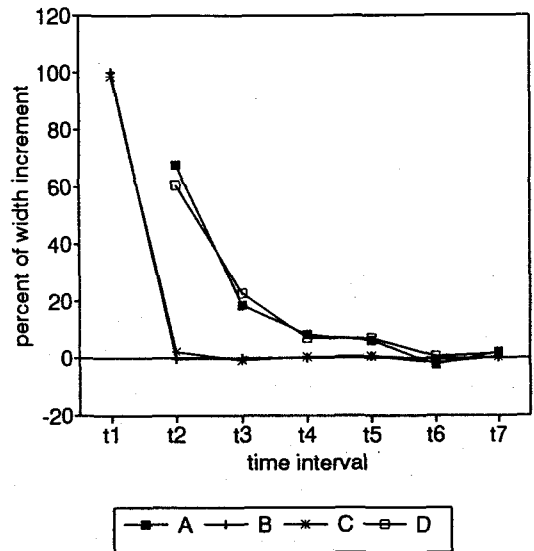


Fig. 3. Comparison of percent of width increment among A, B, C, D group in each time interval (0.018")

Table 2. Width change between two free ends of 0.018" wire (mm)

Time	Group			
	A	B	C	D
baseline	52.72 (1.34)	54.02 (0.52)	53.22 (1.43)	59.13 (0.40)
heat treatment	—	57.66 (0.81)	55.60 (1.09)	—
1 hour	53.63 (1.28)	57.64 (0.81)	55.65 (1.06)	59.90 (0.34)
1 day	53.88 (1.34)	57.64 (0.76)	55.63 (1.06)	60.19 (0.35)
1 week	53.99 (1.32)	57.64 (0.80)	55.64 (1.10)	60.28 (0.33)
2 weeks	54.07 (1.34)	57.67 (0.78)	55.66 (1.07)	60.37 (0.34)
3 weeks	54.04 (1.30)	57.65 (0.78)	55.62 (1.03)	60.38 (0.36)
4 weeks	54.07 (1.30)	57.65 (0.79)	55.63 (1.05)	60.40 (0.36)

( ): standard deviation

61% 정도가 일어났으며 1주일 이내에 94% 정도가 일어났다.

직선 선재를 열처리한 후 굽힌 H군은 열처리를 하지 않은 E군과 비슷한 양상으로 복원이 일어났다. 그러나 그 크기는 E군보다 작게 나타났다.

굽힌 후에 전기로와 전류로 열처리를 한 F, G군에서는 열처리에 복원량의 대부분이 발생하였다. 그 이후에는 폭경의 변화가 거의 나

타나지 않았다.

폭경의 증가가 유의성 있게 나타난 것은 열처리하지 않은 E군에서 첫 1시간 동안의 변화량과, 전기로와 전류로 열처리한 F, G군에서 열처리 전후의 변화량이다.

원형과 각형 선재에서 복원량의 크기는 전기로 열처리군, 전류 열처리군, 비열처리군, 열처리 후 굽힌 군의 순서로 나타났다.

**Table 3.** Width increment of 0.018" wire in each time interval (mm)

Time interval	Group			
	A	B	C	D
t1		3.64 (100.28)**	2.38 (98.76)**	
t2	0.91 (67.41)	-0.02 (-0.55)	0.05 (2.07)	0.77 (60.63)**
t3	0.25 (18.51)	0.00 (0.00)	-0.02 (-0.82)	0.29 (22.83)
t4	0.11 (8.14)	0.00 (0.00)	0.01 (0.41)	0.09 (7.09)
t5	0.08 (5.93)	0.03 (0.83)	0.02 (0.83)	0.09 (7.09)
t6	-0.03 (-2.22)	-0.02 (-0.55)	-0.04 (-1.66)	0.01 (0.79)
t7	0.03 (2.22)	0.00 (0.00)	0.01 (0.41)	0.02 (1.57)

\*\* P < 0.01

( ) : % of total increment

t1 : baseline to after heat treatment in B, C group

t2 : after heat treatment to 1 hour in B, C group, baseline to 1 hour in A, D group

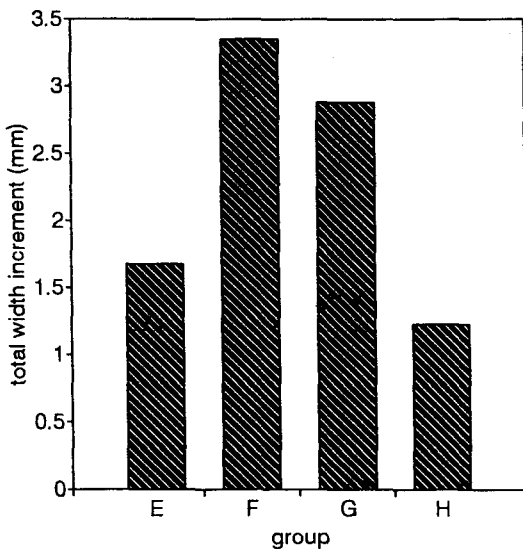
t3 : 1 hour to 1 day

t4 : 1 day to 1 week

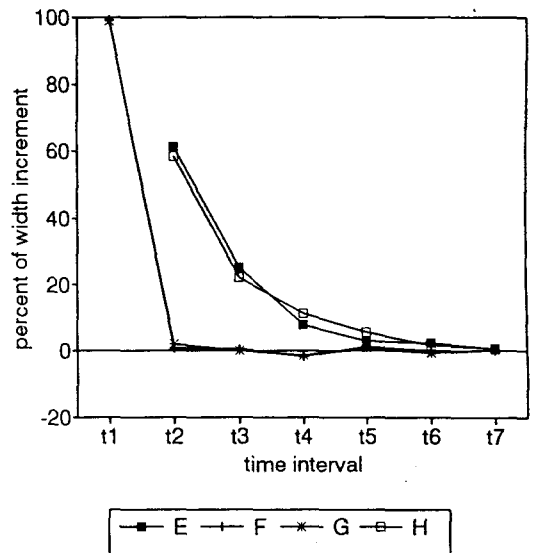
t5 : 1 week to 2 weeks,

t6 : 2 weeks to 3 weeks

t7 : 3 weeks to 4 weeks



**Fig. 4.** Comparison of total width increment among E, F, G, H group (0.019 × 0.025")



**Fig. 5.** Comparison of percent of width increment among E, F, G, H group in each time interval (0.019 × 0.025")

#### IV. 고 안

교정용 선재의 열처리 는 austenitic phase와 martensitic phase가 혼재하는 stainless steel

선재의 내부 구조를 실온에서 안정된 austenitic phase로 바꾸어 선재의 부취지기 쉬운 성질을 제거하고 탄력성과 탄성한계를 증가시킨다<sup>6,14</sup>. 열처리 는 형성된 선재의 하중변형도

**Table 4.** Width change between two free ends of 0.019 X 0.025'' wire (mm)

Time	Group			
	E	F	G	H
baseline	43.66 (0.85)	43.41 (0.67)	43.41 (0.83)	50.55 (1.22)
heat treatment	—————	46.73 (1.44)	46.26 (1.02)	—————
1 hour	44.69 (0.84)	46.76 (1.40)	46.32 (1.00)	51.27 (1.15)
1 day	45.11 (0.83)	46.78 (1.41)	46.32 (1.02)	51.54 (1.15)
1 week	45.24 (0.85)	46.72 (1.38)	46.28 (1.02)	51.68 (1.10)
2 weeks	45.29 (0.84)	46.76 (1.37)	46.30 (1.02)	51.75 (1.10)
3 weeks	45.33 (0.85)	46.76 (1.39)	46.28 (1.01)	51.77 (1.11)
4 weeks	45.34 (0.84)	46.76 (1.39)	46.29 (1.00)	51.78 (1.11)

( ) : standard deviation

**Table 5.** Width increment of 0.019 X 0.025'' wire in each time interval (mm)

Time interval	Group			
	E	F	G	H
t1	—————	3.32 (99.10)**	2.85 (98.96)**	—————
t2	1.03 (61.31)*	0.03 (0.90)	0.06 (2.08)	0.72 (58.54)
t3	0.42 (25.00)	0.02 (0.60)	0.00 (0.00)	0.27 (21.95)
t4	0.13 (7.74)	-0.06 (-1.79)	-0.04 (-1.38)	0.14 (11.38)
t5	0.05 (2.98)	0.04 (1.19)	0.02 (0.69)	0.07 (5.69)
t6	0.04 (2.38)	0.00 (0.00)	-0.02 (-0.69)	0.02 (1.63)
t7	0.01 (0.60)	0.00 (0.00)	0.01 (0.35)	0.01 (0.81)

\* P < 0.05

\*\* P < 0.01

( ) : % of total increment

t1 : baseline to after heat treatment in F, G group

t2 : after heat treatment to 1 hour in F, G group, baseline to 1 hour in E, H group

t3 : 1 hour to 1 day

t4 : 1 day to 1 week

t5 : 1 week to 2 weeks,

t6 : 2 weeks to 3 weeks

t7 : 3 weeks to 4 weeks

를 증가시키나 탄성율은 크게 증가시키지 못한다<sup>10,11).</sup>

냉간가공된 선재를 열처리하는 것은 냉간가공시에 선재에 내재된 잔류응력을 제거하기 위함이다. 냉간가공 후 열처리를 하지 않은 선재 내부의 잔류응력은 선재의 형태를 계속해서 변하게 한다. 냉간가공 후 열처리를 하는 경우 잔류응력이 제거되고<sup>13)</sup> elastic memory가 축진되어서 선재의 변형양상은 없어지게 되는데

이런 양상은 본 실험의 열처리군에서도 관찰되었다(그림 3, 5). 잔류응력이 제거되지 않은 상태에서 선재에 힘을 가하게 되면 실제로 선재가 받는 힘은 잔류응력과 외부에서 가해지는 응력을 합한 힘을 받게 되어 냉간가공을 받은 선재는 원래의 선재보다 더 쉽게 영구변형을 일으킨다<sup>6,10).</sup> 열처리를 하면 잔류응력이 제거되어 선재의 탄성도와 탄성영역이 증가된다<sup>11).</sup>

본 실험에서 나타난 복원양상을 보면, 열처

리를 하지 않은 경우 원형과 각형 선재에서 초기 1시간동안 전체 복원량의 60% 정도가 발생하였으며 그 후 일주일 내에 90% 이상의 복원이 발생하는 것을 볼 수가 있었다. 열처리를 한 경우 복원은 열처리시에 거의 모두 발생하였고, 그 이후 시편은 안정된 형태를 보였다. 그리고 열처리를 한 선재를 굽힌 군에서는 역시 복원현상이 일어났으나 그 정도는 열처리를 하지 않은 군보다 작았다. Durr 등<sup>22)</sup>은 cobalt-chrome계 선재에서 냉간가공 후 복원양상이 점진적으로 발생하며 약 10~15 gm 정도의 힘이 복원에 의한 선재의 변형으로 발생하고 열처리 방법에 관계 없이 열처리시 대부분의 복원이 일어나 그 이후에는 형태의 안정성을 보였다고 하였는데 이는 본 실험의 결과와 일치한다. 임상적으로 선재의 변형에 의해서 원하지 않은 방향으로 치아이동이 발생할 수가 있으며, 정확한 힘의 전달이 힘들다. 특히 closing loop와 같은 경우 복원 현상의 방향과 외력이 가해지는 방향이 일치할 경우 선재의 탄성한계가 상당히 감소할 것이다<sup>9,10,11,12)</sup>.

선재가 복원을 일으키는 동안에 복원방향으로 힘을 가하는 경우 잔류응력에 의해 선재가 더 쉽게 변형할 수 있다. Burstone과 Baldwin<sup>11)</sup>에 의하면 spring을 당기는 경우 spring을 제작하는 동안 형성된 잔류응력 때문에 spring을 형성할 때와 같은 방향으로 힘을 주는 것이 spring을 푸는 방향으로 힘을 주는 것 보다 영구변형 없이 받을 수 있는 힘의 범위(proportional limit)가 크다고 하였다. 즉 잔류응력의 효과 때문에 spring을 푸는 방향으로 힘을 주는 경우는 잔류응력과 외력이 상승작용을 일으킨다. 이런 현상은 Ingerslev<sup>9)</sup>의 실험에서도 볼 수가 있는데, U자로 굽힌 선재를 열처리하지 않고 압축할 경우에 인장하는 것 보다 더 큰 탄성한계를 얻었다고 하며, 인장실험을 0.5, 1, 1.5개월 후에 다시 시행하였을 때 인장시의 탄성한계가 각각 45%, 52%, 62%로 증가하였다고 한다. 즉 시간이 지날수록 잔류응력이 선재의 elastic memory를 통한 복원에 의해 감소되면서 탄성한계가 증가한 것을 알 수 있다. Hazel 등<sup>25)</sup>에 의하면, tip

back bend에서 발휘되는 힘은 시간이 경과함에 따라 감소하였으며 열처리한 경우 이런 감소현상이 줄어들었다고 보고하였는데, tip back bend에서 발휘되는 힘이 줄어드는 것은 선재에 가해지는 외력과 잔류응력에 의한 복원력의 방향이 일치하기 때문에 발생한 현상이라고 생각된다. 이런 복원양상과 잔류응력을 열처리로 제거한 경우 선재가 발휘하는 힘의 감소현상이 줄어드는 것은 당연하다고 할 수가 있을 것이다. 힘의 감소는 초기에 많이 이루어졌는데 이것은 이번 실험에서 나타난 초기 1시간 동안에 많은 복원이 발생한 양상과 연관이 된다고 생각된다. 임상적으로, 치아를 후방견인 하기 위해서 사용하는 vertical closing loop을 종종 open type으로 사용하는데 이러한 관점으로 볼 때 open type은 힘을 지속적으로 발휘하는 면에서 불리하다고 할 수가 있을 것이다<sup>11)</sup>.

표 3,5의 열처리군의 폭경 변화량에서 폭경이 이전의 측정치보다 미세하게나마 작게 측정된 것은 측정오차로 생각된다.

Throw<sup>6)</sup>는 열처리 후에 다시 호선을 조절하여 균형을 맞추어 줄 것을 권장하였다. 그러나 본 실험 결과에서와 같이 열처리한 선재를 냉간가공한 군에서 복원이 일어나는 것을 볼 때, 열처리에 의해서 변형된 선재를 다시 조절하는 것은 처음보다는 적은 양이나 다시 변형을 초래하게 되므로 선재를 다시 조정할 때는 주의해야 할 것이다. Funk<sup>9)</sup>의 V-shape loop의 실험에서, 같은 형태의 시편을 형성하는데, 열처리한 직선 선재를 굽혀 형성한 군은 냉간가공 후 열처리하여 형성한 군보다 같은 양의 외력에 대해 더 많은 영구 변형을 나타내었다고 한다. 이런 현상은 열처리 후에 다시 냉간가공을 하면 외력에 의해 austenitic phase만 있던 금속 내부에 다시 martensitic phase와 잔류 응력이 형성되어 탄성한계가 낮아져 선재가 외력에 잘 견디지 못하게 된 결과이다. 즉 열처리 후에 굽힌 선재는 굽힌 후 열처리한 선재보다 탄성한계가 낮다. 따라서 열처리후에 다시 선재를 냉간 가공하는 것은 좋지 않다고 생각된다.

직선 선재를 열처리하고 굽힌 군의 시편 형성시, 원형 선재는 열처리 후에 직선의 상태가 변하지 않았으나 각형 선재의 경우는 선재의 직선상태가 유지되지 못하였다. 이것은 각선을 인발하여 형성할 때 발생된 잔류응력이 완전히 제거되지 않은 상태로 선재가 시판되었기 때문에 판단되며 열처리가 elastic memory를 촉진하여 선재의 변형이 발생한 것으로 생각된다. 이런 변형은 열처리를 하지 않고 구강내에서 각형 선재를 사용할 경우 선재가 더욱 쉽게 영구변형을 일으킬 수 있는 원인이된다.

전류 열처리군 보다 전기로 열처리군에서 더 많은 복원량을 나타내었다. 전류 열처리군의 경우는 굽힘을 받은 부분만이 열처리가 되었으나 전기로 열처리군에서는 선재의 모든 부분이 열처리가 되었고 열처리에 의해 받는 열량의 정도도 다르기 때문으로 생각된다. 따라서 같은 정도로 열처리한 경우 변형이 어느 방법에서 더 큰 것인지는 이 실험으로는 비교하기가 곤란하다. 그러나 열처리 후 형태의 안정성이란 면에서 두 군 사이에 차이는 없다고 판단된다.

형태 복원량에 대한 유의성 검사(Student t-test)에서 초기 폭경 변화가 큰 부분들에서 유의성이 있었다. 그러나 원형 선재의 비열처리군, 각형 선재의 열처리 후 굽힌 군에서 폭경의 증가가 발생하였으나 유의성은 없었다. 이것은 시편 제작시 오차에 의한 표준편차가 크기 때문인 것으로 생각된다.

stainless steel 선재의 사용에 있어서 어떤 모양을 형성하는 경우 가능한 선재 내부에 잔류응력이 적게 생성되도록 노력해야 할 것이며 선재는 열처리에 많은 복원을 일으키므로 주의 깊은 배려가 필요하다. 그리고 열처리를 하지 않은 경우 선재의 복원량은 열처리를 한 경우보다 적지만 외력이 가해지는 경우 이에 대항하는 탄성한계는 현저히 낮아진다는 점을 고려한다면, 냉간가공한 선재는 반드시 열처리를 하여 사용해야 할 것이다. 그리고 열처리 후에는 가능하면 선재를 적게 재조정하여 잔류응력이 다시 선재 내부에 많이 발생하지 않도록 해야 할 것이다.

## V. 결 론

원형(0.018")과 각형(0.019×0.025")의 stainless steel(ORMCO) 선재에서 냉간가공 후 발생하는 복원양상과 열처리에 의한 영향을 알아보기 위해, jig를 이용하여 균일하게 냉간가공한 시편 양단의 폭경 변화를 시간에 따라 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열처리를 하지 않은 군과 열처리 후 굽힌 군은 시간에 따라 점진적인 복원을 나타내었다. 초기 1시간 동안에 전체 복원량의 60% 정도가 발생하였으며, 1주일 이내에 90% 이상의 복원이 발생하였다.
2. 냉간가공 후 열처리 한 군은 열처리 방법에 관계없이 열처리시에 거의 모든 복원이 일어났으며 그 후에는 형태의 안정성을 나타내었다.
3. 복원의 정도는 냉간가공 후 열처리 한 군에서 크게 나타났다.
4. 두 종류 선재의 복원양상은 거의 차이가 없었다.

## REFERENCES

1. Wilkinson, J.V.: Some metallurgical aspects of orthodontic stainless steel, *Am. J. Orthod.*, 48:192-202, 1962.
2. 박대한, 유영규: 교정용 철사의 인장 특성에 관한 연구, 연세치대 논문집, 3: 513-519, 1985.
3. O'Brien, W.J., and Ryge, G.: An outline of dental materials and their selection, Saunders, W.B. Co., 307-319, 1978.
4. Phillips, R.W.: Science of dental materials, Saunders, W.B. Co., 653-654, 1973.
5. Burstone, C.J.: Variable-modulus orthodontics, *Am. J. Orthod.*, 80:1-16, 1981.
6. Thurow, R.C.: Edgewise orthodontics, 3rd ed., Saint Louis, The C.V. Mosby Co.,



- 42-66, 1982.
7. Kohl, R.W.: Metallurgy in orthodontics, Angle Orthod., 34:37-52, 1964.
  8. Ingerslev, C.H.: Influence of heat treatment on the physical properties of bent orthodontic wire, Angle Orthod., 36:236-247, 1966.
  9. Funk, A.C.: The heat-treatment of stainless steel, Angle Orthod., 21:129-138, 1951.
  10. Backofen, W.A., and Gales, G.A.: The low-temperature heat-treatment of stainless steel for orthodontics, Angle Orthod., 21:117-124, 1951.
  11. Burstone, C.J., and Baldwin, J.J.: Application of continuous forces to orthodontics, Angle Orthod., 31:1-14, 1961.
  12. Burstone, C.J., and Goldberg, A.J.: Maximum forces and deflections from orthodontic appliances, Am. J. Orthod., 84:95-103, 1983.
  13. Howe, G.L., Greener, E.H., and Crimmins D.S.: Mechanical properties and stress relief of stainless steel orthodontic wire, Angle Orthod., 38:244-249, 1968.
  14. Khier, S.E., Brantely, W.A., and Fournelle, R.A.: Structure and mechanical properties of as-received and heat-treated stainless steel orthodontic wires, Am. J. Orthod., 93:206-212, 1988.
  15. Mahler, D.B., and Goodwin, L.: An evaluation of small diameter orthodontic wire, Angle Orthod., 37:13-17, 1967.
  16. Lane, D.F., and Nikolai, R.J.: Effect of stress relief on the mechanical properties of orthodontic wire loop, Angle Orthod., 50:139-145, 1980.
  17. Goldberg, A.J., Vanderby, R., and Burstone, C.J.: Reduction in the modulus of elasticity in orthodontic wire, J. Dent. Res., 56:1227-1231, 1973.
  18. 권오원, 손병화: 교정용 스테인리스 강선재의 물리적 성질에 관한 비교연구, 대한치과교정학회지, 15:162-174, 1985.
  19. 이용국, Looped wire의 하중변형도와 열처리에 의한 변화, 대한치과교정학회지, 16:133-143, 1988.
  20. 이성복, An experimental study of the stress relief of orthodontic wire, 대한치과교정학회지, 1:9-14, 1979.
  21. 정미, 양규호: 수중교정용 선재의 열처리 효과에 관한 연구, 전남치대 논문집, 1:303-317, 1989.
  22. Durr, D.P., Vargar, R., and Adair, S.M.: Evaluation of stress relief methods on cobalt-chromium orthodontic wires, Pediatric dentistry, 10:205-209, 1988.
  23. Durr, D.P., Vargas, R., and Ward, K.: Evaluation of stress-relief methods of cobalt-chromium orthodontic wires, J. Dent. Res., 65:228, 1986.
  24. Kelmer, E.A.: Effect of low-temperature heat treatment on the physical properties of orthodontic wire, Am. J. Orthod., 42:793, 1956.
  25. Hazel, R.J., Rohan G.J., West, V.C.: Force relaxation in orthodontic arch wires, Am. J. Orthod., 86:396-402, 1984.

— ABSTRACT —

## EFFECTS OF LOW-TEMPERATURE HEAT TREATMENT ON ELASTIC MEMORY PROCESS OF COLD WORKED STAINLESS STEEL WIRE

Jeung-Sei Oh, D.D.S.

Soo-Byung Park, D.D.S., M.S.D.

Woo-Sung Son, D.D.S., M.S.D., Ph. D.

*Dept. of Orthodontics, College of Dentistry, Pusan National University*

The purpose of this study was to evaluate the elastic memory process in cold worked stainless steel wire and the effect of heat treatment on it.

0.018 inch round and 0.019 × 0.025 inch rectangular wire (ORMCO stainless wire) were used in this study. Each wire type had 4 groups: non-heat treatment group, furnace heat treatment group, electric current heat treatment group, and bending after heat treatment group. Each group was consisted of 10 specimens.

With the Jig, each wire was bent into v-shape uniformly, and width of two free ends of each v-shaped wire was measured by caliper (to the point of 0.1mm correctly) at time interval of off-jig, after heat treatment, 1, 2, 3, 4 hours, 1, 2, 3, 4, 5, 6 days, 1, 2, 3, 4 weeks after.

The results were as follows:

1. In non-heat treatment group and bending after heat treatment group, elastic memory process was occurred 60% within 1 hour, and more than 90% within 1 week.
2. In furnace and electric current heat treatment group, almost all elastic memory process was occurred during heat treatment, and then specimen was stabilized dimensionally.
3. Magnitude of deformation by elastic memory was greater in heat treatment group than non heat treatment group and bending after heat treatment group.
4. There was no remarkable difference in deformation pattern between 0.018 inch round wire and 0.019 × 0.025 inch rectangular wire.