

looped wire의 荷重變形도와 熱處理에 의한 變化

서울대학교 大學院 齒醫學科 矯正學 專攻
(指導教授 張 英 一)

李 鎔 局

一 目 次

- I. 緒 論
- II. 文獻考察
- III. 實驗材料 및 方法
- IV. 實驗成績
- V. 總括 및 考按
- VI. 結 論
- 參考文獻
- 英文抄錄

I. 緒 論

齒列矯正 結果에 影響을 미칠 수 있는 要素는 成長發育의 樣相, 組織의 反應, 患者의 協調度 그리고 機械的인 矯正力 等이며 이 중 矯正力의 크기는 術者가 調節할 수 있는 部分이다.

矯正力의 適切한 크기에 대하여 Burstone²⁾, Graber³⁾ 등은 약하고 持續的인 矯正力(light continuous force)이 生物學的인 活性度를 높혀 良好한 治療結果를 보인다고 했다.

약하고 持續的인 矯正力은 弧線의 荷重變形度の 減少와 作用領域의 增加에 의해 이루어 진다고 報告되었다.^{2, 6, 13, 15)}

이와같이 荷重變形度を 減少시키고 作用領域을 增加시키는 데는 弧線의 直徑을 줄여주거나 길이를 늘이는 方法이 있는데, 弧線의 自體強度를 維持하면서 약한 矯正力을 얻기 위하여 直徑을 줄이는 方

法 보다는 길이를 增加시키는 것이 良好하다고 권장된다.⁶⁾

따라서 臨床家들은 弧線에 loop를 形成하여 bracket사이의 一定한 間隔에 들어가는 wire의 길이를 增加시킨다.^{6, 10)}

그러나 直線狀의 wire에 loop를 形成하면 그 部位에 彈性限度를 넘는 變形이 생겨 弧線 内部에 殘留應力이 發生된다. 이 殘留應力에 의해 術者가 意圖하는 크기의 矯正力이 正確하게 齒牙에 傳達되지 못할 뿐 아니라, loop의 形態에 따라서 弧線의 安定性이 낮아져 작은 外力에도 높은 應力과 永久變形을 보이게 된다.^{9, 10, 12, 14)}

Skinner는¹⁶⁾ wire를 구부릴 때 그 金屬原子가 變位되어 殘留應力이 나타나고 形成된 殘留應力은 熱處理를 통하여 어느 정도 除去된다고 하였다.

熱處理에 의해 殘留應力이 除去되는 比率은 12.0~40.0%와 11.8~13.9%로 實驗方法에 따라 다르게 報告되었다.^{8, 11)}

本 實驗은 齒列矯正 wire에 loop를 形成할 때 생기는 殘留應力에 의해 wire의 彈性性質이 變化하는 樣相과 looped wire를 熱處理한 후 彈性性質이 어떻게 바뀌는 가를 荷重變形度を 中心으로 알아보기 위하여 施行하였다.

II. 文 獻 考 察

Skinner(1960)는 外力에 의해 變形된 金屬은 그 結晶格子(crystal lattice) 構造內의 金屬原子가 變

位되어 隣接層의 金屬原子와 干涉(interference) 現象을 보이며 이로 인해 同一한 量의 變形을 더 시키는 데에 必要한 外力은 처음 變形시킬 때보다 더 크다고 하였다.

Caddell(1980)은 外力에 의해 變位된 金屬原子들은 原來의 狀態로 되돌아 가려는 反撥效果를 나타내며 이들이 합쳐져서 'back stress'를 形成하므로 처음 變形과 反對되는 方向의 外力에 대하여 더 쉽게 反應한다고 하였다.

Burstone(1961)은 wire의 彈性係數가 機械的 操作이나 熱處理에 의해 크게 變化되지 않는 性質이나 例外로 殘留應力만은 이 彈性係數를 약간 低下시킬 수 있으며, 直徑이 작은 wire일수록 低下幅이 크다고 하였다. 反面에, wire의 彈性限度는 金屬粒子의 크기, 加工硬化의 程度, 熱處理 與否에 의하여 심한 變化를 나타낸다고 하였다.

Ingerslev(1966)는 stainless steel wire를 利用한 實驗에서, 弧線을 形成할 때 생기는 殘留應力으로 인해 表面硬度和 強度, 그리고 彈性限度가 增加하였으나 荷重變形度는 變化가 없었다고 報告하였다.

Nikolai(1985)는 wire의 彈性에너지와 韌性은 그 試片이 겪은 'stress history'에 의해 影響을 받는다고 하였다. 各 試片에는 未知量의 內部에너지가 있는데 그 量은 生産過程부터 實驗直前 段階까지 거처온 機械的 過程과 熱處理에 따라서 달라지며 試片이 破折되지 않고 견디어 낼 수 있는 最大 荷重이 있듯이 各 試片에는 歪力에너지에 대한 明確한 限界가 있어서 이를 超過하는 境遇에 破折된다고 하였다.

殘留應力은 wire의 內部에너지를 上昇시켜 豫期치 못한 破折등을 招來할 수 있으므로 除去되어야 하며, 그 內部에너지의 量은 定量分析이 어렵지만 一般적으로 內部에너지가 많을수록 硬도가 높고 延性が 낮다고 하였다. 이러한 內部에너지는 加工硬化과 熱處理에 의해 變化될 수 있는데, 加工硬化時에 wire가 그 彈性限度 以上의 外力을 받으면 金屬原子 사이의 結合이 끊어지고 새로운 結合이 생겨 外的으로는 모양의 變形, 內的으로는 內部에너지量의 變化를 보이게 되는데, 單位體積當 內部에너지가 限界를 넘게 되면 wire가 破折되면서 에너지의 喪失이 나타난다고 했다.

그는 內部에너지가 比較的 낮은 狀態에서 適當한 量의 에너지가 流入되면 彈性限度와 彈性領域의 增加, 彈性에너지와 破折強度의 增加를 보이지만 延

性は 減少된다고 하였다. 그러나 loop를 形成할 때 發生되는 殘留應力이 wire의 荷重變形度에 미치는 影響은 그 樣相이 複雜하여 正確한 分析이 어렵다고 하였다.

Thurow(1982)는 矯正施術에서 wire에 대한 熱處理는 殘留應力에 의한 危害作用을 줄여주고 elastic memory를 促進시켜 wire의 形態를 安定性있게 維持시켜 준다고 하였다.

Backofen(1951)이 直線試片과 closing loop에 대하여 引張實驗을 實施한 結果, 熱處理群이 熱處理하지 않은 群에 비해 彈性強度가 增加하였다.

Funk(1961)는 stainless steel로 mattress spring을 만든 후, 時間가 溫度를 여러가지로 組合하여 熱處理한 後, 고리가 달린 spring을 使用하여 同一한 힘으로 잡아당겨 그 變形된 程度를 比較해본 結果, 850F°에서 3分間 熱處理한 境遇에 變形이 가장 적었다고 報告하였다.

Howe(1968)는 stainless steel wire를 一定距離 變位시킨 후 그 狀態로 熱處理하였다. 熱處理後 되돌아간 距離와 熱處理前 變位量의 比率를 應力除去比率로 計算하여 試片의 直徑에 따라서 12.0~40.0%의 殘留應力이 熱處理에 의해 除去되었다고 報告하였다.

또 直線試片을 熱處理한 後 引張實驗을 施行하여 본 結果, 그 彈性係數가 3~8% 增加하였다고 하였다.

Lane(1980)은 contraction loop에 대한 引張實驗에서 熱處理 前과 後의 彈性限度를 測定 比較하여 11.8~13.9%의 應力除去 比率를 報告하였다.

Martin(1984)은 blue Elgiloy를 furnace와 電流로 熱處理한 뒤, 屈曲 및 引張實驗을 하여 두 가지 熱處理 方法 모두 強도와 綱性的 增加가 있었다고 했다.

Nikolai(1985)는 應力除去 熱處理가 심한 屈曲, 複雜한 loop의 形成등의 冷間加工이 가해진 境遇 바람직한 處置로서 殘留應力의 一部 除去와 延性的 增加 效果가 있지만 wire의 種類와 直徑, 그리고 加工硬化의 程度에 따라서 彈性限度, 彈性에너지, 極限強度가 增加되기도 하고 減少되기도 한다고 하였다.

III. 實驗材料 및 方法

臨床的으로 많이 使用되고 있는 齒列矯正 wire 중 .016", .018", .016×.022", .018×.022"의 幅徑을 가지며 熱處理되지 않은 stainless steel wire(Unitek; standard)와 cobalt-chromium-nickel wire (Rocky Mountain; Elgiloy)를 選定하였다.

이들 實驗試片을 11.6cm의 同一한 길이로 자른 후 直線 非熱處理群, loop形成 非熱處理群, loop形成 熱處理群으로 나누었다.

loop의 種類는 臨床的으로 흔히 쓰이는 U-loop, L-loop, circle loop의 세 가지를 選擇하였다. (그림 1)

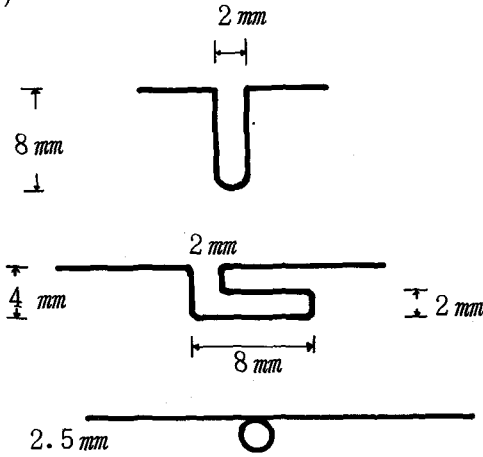


그림 1.

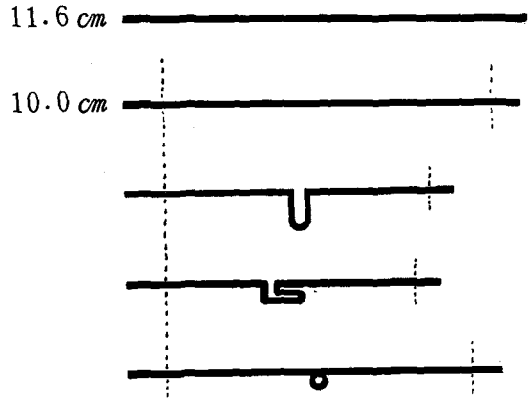
直徑-材料-loop의 形態-熱處理與否에 따라 細分된 項目은 56개로, 한 項目當 試片數는 6개씩으로 하여 試片마다 彈性限度와 彈性領域을 測定하였다.

各試片은 한쪽 끝에 추를 달 수 있는 고리를 形成하고 反對 쪽 끝은 固定을 시킬 수 있게 1.0cm를 남겨서 結局 그 有效 길이가 10cm 되게 하였다. (그림 2)

loop形成群은 Ormco社의 043-CK plier로 同一한 術者가 同一한 方法으로 loop를 形成하도록 留意하여 製作하였다.

各試片의 彈性限度와 彈性領域은 1/20mm까지 測定 可能한 vernier caliper(Mitutoyo社 製品)를 附着하여 製作된 器機(사진 1)로 測定하였다.

試片을 固定나사에 固定시키고 그 反對쪽 끝 고리의 높이를 caliper로 測定하여 記錄한 후, 추 받



(그림 2)

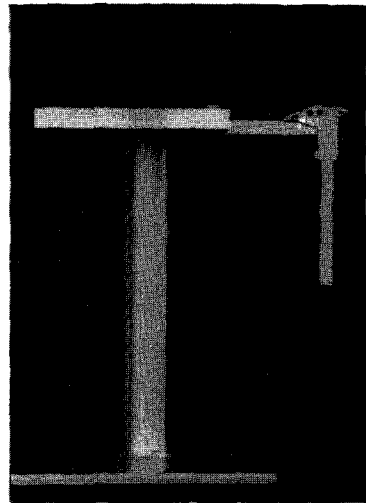


사진 1.

침대를 핀셋으로 고리에 걸고 그 무게에 의해 구부러진 垂直距離를 測定하여, 처음 固定時 높이와의 差異를 구하였다. 다시 추 받침대를 핀셋으로 除去한 후 퍼진 試片의 높이를 測定한 후 固定時의 높이와 比較하여 얼마의 永久變形이 생겼나를 計算하였다. 이 永久變形量이 變位量의 0.2%에 到達할 때까지 100mg씩 荷重을 增加시켰다.

0.2%의 永久變形이 일어났을 때의 荷重을 그 試片의 彈性限度로, 그 때의 變位量을 彈性領域으로 하였으며^{5,6)} 이 둘의 比率를 荷重變形度로 했다.⁶⁾

熱處理群은 Big-Jane (Esmadent社) furnace에서 850°F의 溫度로 3分間 熱處理하였다.

殘留應力에 의한 荷重變形度의 變化量은 loop形成 非熱處理群의 荷重變形度에서 直線 非熱處理群의 荷重變形度を 뺀 값으로 하였고, 熱處理에 의한

表 1. 탄소함량의 평균 및 표준편차(mg)

형태 지경	비						열						리						리									
	Straight		U loop		L loop		Circle loop		U loop		L loop		Circle loop		U loop		L loop		Circle loop		U loop		L loop		Circle loop			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
Stainless Steel	.016	1233.33	2066.67	445.72	1850.00	137.84	1900.00	328.63	2500.00	554.98	2016.67	132.92	2216.67	75.28	.018	1450.00	2783.33	194.08	2050.00	187.08	1833.33	301.11	2166.67	136.63	2200.00	141.42	950.00	225.83
	.016	5866.67	4450.00	418.33	5000.00	957.17	883.33	222.86	4766.67	628.22	5200.00	819.76	2150.00	1222.70	X.022	5666.67	4700.00	547.72	5166.67	408.25	900.00	489.90	5466.67	1454.19	4533.33	2266.67	1273.84	
	.016	2133.33	2283.33	183.48	2300.00	209.76	2483.33	75.28	3950.00	207.36	3566.67	242.21	1016.67	449.07	.018	3083.33	3566.67	560.95	3166.67	416.73	1850.00	585.33	4750.00	993.48	4516.67	487.51	1066.67	233.81
	.016	4916.57	4916.67	1281.28	5583.33	1462.08	1083.33	598.05	6383.33	1761.15	7216.67	479.23	2166.67	1224.20	X.022	5166.67	4966.67	928.80	5266.67	557.37	1916.67	705.45	7183.33	515.43	7833.33	2766.67	1151.81	
	.016	5166.67	4966.67	928.80	5266.67	557.37	1916.67	705.45	7183.33	515.43	7833.33	2766.67	1151.81	X.022	5166.67	4966.67	928.80	5266.67	557.37	1916.67	705.45	7183.33	515.43	7833.33	2766.67	1151.81		
	Cobalt-chromium-nickel	.016	2133.33	2283.33	183.48	2300.00	209.76	2483.33	75.28	3950.00	207.36	3566.67	242.21	1016.67	449.07	.018	3083.33	3566.67	560.95	3166.67	416.73	1850.00	585.33	4750.00	993.48	4516.67	487.51	1066.67
	.016	4916.57	4916.67	1281.28	5583.33	1462.08	1083.33	598.05	6383.33	1761.15	7216.67	479.23	2166.67	1224.20	X.022	5166.67	4966.67	928.80	5266.67	557.37	1916.67	705.45	7183.33	515.43	7833.33	2766.67	1151.81	

表 2. 탄성 영역의 평균 및 표준편차 (mm)

상태 지경	비						열						리						군					
	Straight		U loop		L loop		Circle loop		U loop		L loop		Circle loop		U loop		L loop		Circle loop					
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D				
Stainless steel	.016	17.73	1.42	19.87	3.88	17.09	0.91	22.00	3.40	22.87	3.82	17.34	1.25	24.55	0.60									
	.018	14.15	1.22	18.96	0.70	13.31	1.33	15.13	2.33	14.23	0.78	13.39	0.89	7.12	1.60									
	.016 X.022	36.59	5.94	20.96	2.05	21.58	3.37	5.30	1.27	21.57	2.38	21.38	3.18	11.74	6.47									
Cobalt-chromium-nickel	.018 X.022	30.31	5.39	18.20	1.87	17.08	2.74	4.24	2.53	19.54	5.09	15.12	4.22	10.28	5.61									
	.016	28.41	2.57	21.58	1.77	20.38	1.83	27.41	1.30	33.02	1.29	28.63	1.77	11.10	4.32									
	.018	25.13	1.42	21.10	3.44	17.67	2.25	13.78	4.01	25.31	4.59	23.22	1.95	7.71	1.81									
Cobalt-chromium-nickel	.016 X.022	28.63	6.04	20.68	4.37	21.75	4.65	5.95	3.48	24.27	6.51	26.47	1.55	10.53	5.37									
	.018 X.022	24.75	3.38	17.45	2.93	16.38	1.93	7.89	2.83	22.68	1.66	21.79	1.74	10.53	3.93									

表 3. 하중변형도의 평균 및 편준편차 (gm/mm)

형태 지경	비						열						리						군														
	Straight			U loop			L loop			Circle loop			U loop			L loop			Circle loop			U loop			L loop			Circle loop					
	Mean	S.D		Mean	S.D		Mean	S.D		Mean	S.D		Mean	S.D		Mean	S.D		Mean	S.D		Mean	S.D		Mean	S.D		Mean	S.D				
Stainless Steel	.016	0.07	0.00	0.10	4.08x10 ⁻³	0.11	5.16x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³	0.11	6.32x10 ⁻³	0.12	5.16x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³	0.11	6.32x10 ⁻³	0.12	5.16x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³	0.12	5.16x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³	0.12	5.16x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³				
	.018	0.10	4.08x10 ⁻³	0.15	5.48x10 ⁻³	0.15	8.37x10 ⁻³	0.12	0.00	0.15	4.08x10 ⁻³	0.16	5.16x10 ⁻³	0.12	0.00	0.15	4.08x10 ⁻³	0.16	5.16x10 ⁻³	0.12	0.00	0.15	4.08x10 ⁻³	0.16	5.16x10 ⁻³	0.12	0.00	0.15	4.08x10 ⁻³				
	.016	0.16	8.94x10 ⁻³	0.21	0.01	0.23	0.01	0.17	0.01	0.22	7.53x10 ⁻³	0.24	0.01	0.17	0.01	0.22	7.53x10 ⁻³	0.24	0.01	0.17	0.01	0.22	7.53x10 ⁻³	0.24	0.01	0.17	0.01	0.22	7.53x10 ⁻³				
	X.022	0.19	0.02	0.26	8.94x10 ⁻³	0.31	0.05	0.22	0.01	0.28	9.83x10 ⁻³	0.30	0.01	0.22	0.01	0.28	9.83x10 ⁻³	0.30	0.01	0.22	0.01	0.28	9.83x10 ⁻³	0.30	0.01	0.22	0.01	0.28	9.83x10 ⁻³				
Cobalt-chromium-nickel	.016	0.08	4.08x10 ⁻³	0.11	4.08x10 ⁻³	0.11	4.08x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³	0.12	0.00	0.12	5.48x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³	0.12	0.00	0.12	5.48x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³	0.12	5.48x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³	0.12	5.48x10 ⁻³	0.09	4.08x10 ⁻³				
	.018	0.12	0.00	0.17	4.08x10 ⁻³	0.18	5.48x10 ⁻³	0.13	9.83x10 ⁻³	0.19	8.16x10 ⁻³	0.19	8.16x10 ⁻³	0.13	9.83x10 ⁻³	0.19	8.16x10 ⁻³	0.19	8.16x10 ⁻³	0.13	9.83x10 ⁻³	0.19	8.16x10 ⁻³	0.14	4.08x10 ⁻³	0.19	8.16x10 ⁻³	0.14	4.08x10 ⁻³				
	.016	0.17	7.53x10 ⁻³	0.24	0.01	0.26	0.02	0.18	8.37x10 ⁻³	0.26	0.01	0.26	0.02	0.18	8.37x10 ⁻³	0.26	0.01	0.26	0.02	0.18	8.37x10 ⁻³	0.26	0.01	0.26	0.02	0.18	8.37x10 ⁻³	0.26	0.01	0.26	0.02	0.18	8.37x10 ⁻³
	X.022	0.21	6.32x10 ⁻³	0.28	0.01	0.32	7.53x10 ⁻³	0.24	0.01	0.32	8.16x10 ⁻³	0.36	8.94x10 ⁻³	0.24	0.01	0.32	8.16x10 ⁻³	0.36	8.94x10 ⁻³	0.24	0.01	0.32	8.16x10 ⁻³	0.36	8.94x10 ⁻³	0.24	0.01	0.32	8.16x10 ⁻³				

變化量은 loop形成 熱處理群의 荷重變形度에서 loop形成 非熱處理群의 荷重變形度を 뺀 數値로 하였고 그 有意性을 보기 위하여 t-test를 施行하였다.

IV. 實驗 成績

各群別 彈性限度의 計測值 平均 및 標準偏差를 表 1 에, 彈性領域의 計測值 平均과 標準偏差를 表 2 에 나타내었다.

이들을 基礎로 各群別 荷重變形度を 計算한 것이 表 3 이며 그 單位는 gm/mm가 되도록 하였다.¹⁰⁾

그림 3은 各群別 荷重變形度の 數値를 容易하게 比較할 수 있도록 圖示한 그래프이다.

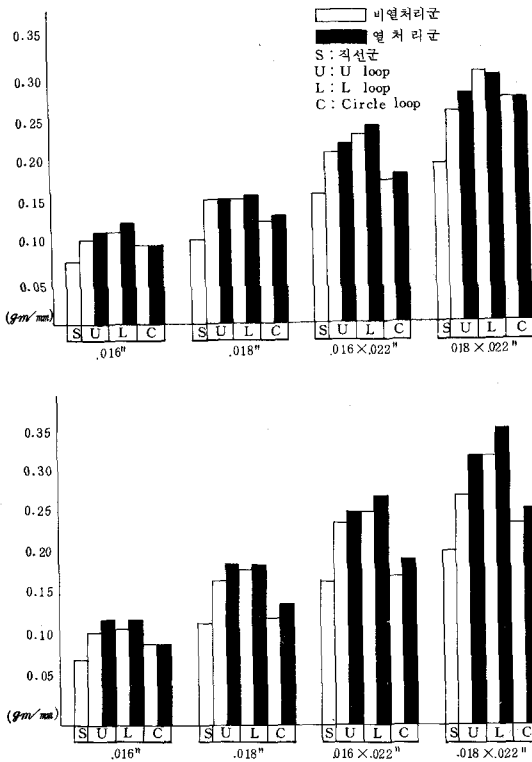


그림 3. (A) Stainless steel wire의 하중변형도
(B) Cobalt-chromium-nickel wire의 하중변형도

1. loop形成에 의한 荷重變形度の 變化

loop形成에 의해서 荷重變形도가 變化된 量을 計算하여 表 4 에 나타내었다. 이 變化量은 loop 形成 非熱處理群의 荷重變形度에서 直線 非熱處理群의 荷重變形度を 뺀 것이며, 이 값이 有意한 差異를 나타내는지 알기 위하여 t-test를 施行하였다.

表 4. loop형성에 의한 하중변형도의 변화량 (gm/mm)

	직 경	U loop	L loop	Circle loop
Stainless steel	.016	0.03 ***	0.04 ***	0.02 ***
	.018	0.05 ***	0.05 ***	0.02 ***
	.016 X.022	0.05 ***	0.07 ***	0.01
	.018 X.022	0.07 ***	0.12 ***	0.03 *
Cobalt-chromium -nickel	.016	0.03 ***	0.03 ***	0.01 ***
	.018	0.05 ***	0.06 ***	0.01 ***
	.016 X.022	0.07 ***	0.08 ***	0.01 **
	.018 X.022	0.07 ***	0.11 ***	0.03 ***

* P < 0.05 ** P < 0.01 *** P < 0.001

表 5. loop형성에 의한 하중변형도의 변화비율 (%)

	직 경	U loop	L loop	Circle loop
Stainless steel	.016	42.86	57.14	28.57
	.018	50.00	50.00	20.00
	.016 X.022	31.25	43.75	---
	.018 X.022	36.84	63.16	15.79
Cobalt-chromium -nickel	.016	37.50	37.50	12.50
	.018	41.67	50.00	8.33
	.016 X.022	41.18	52.94	5.88
	.018 X.022	33.33	52.38	14.29
평균		39.33	50.86	15.05

表 5 에는 直線群을 基準으로 loop別 荷重變形度の 增加比率를 百分率로 나타내었다.

表 4 에서 loop形成에 의하여 全般的으로 荷重變形도가 增加한 것으로 나타났다. 특히 뚜렷한 것은 loop의 形態別 變化로서, 同一한 直徑의 試片에서 L loop의 荷重變形도가 가장 높았고, 그 다음이 U loop, circle loop의 順이었고 直線群이 제일 荷

重變形도가 낮았다.

loop의 種類別로 荷重變形도가 增加하는 比率을 計算해보면, 直線 試片에 비하여 L loop는 荷重變形도가 平均 50.86% 增加하였고, U loop는 39.33%, circle loop는 15.05% 더 높았다. (表 5)

表 3에서 材料別 荷重變形도의 差異를 알수 있는데, 同一한 直徑의 同一試片群에서 항상 cobalt-chromium-nickel wire의 荷重變形도가 stainless steel wire의 荷重變形도 보다 큰 값을 보였다.

直徑이 큰 wire일수록 荷重變形도가 컸으며 loop 形成에 의한 增加量도 크게 나타났다. (그림 3, 表 4)

2. 熱處理에 의한 荷重變形도의 變化

熱處理群의 荷重變形도는 모든 項目에서 非熱處理群의 荷重變形도 以上の 數値를 보였다. (그림 3) 例外로 .018×.022" stainless steel의 L loop 項目은 熱處理群의 荷重變形도가 더 낮았으나 t-test 結果, 有意성이 없었다.

熱處理에 의한 荷重變形도의 變化量을 表 6에 나타냈다. 이 數値는 熱處理群의 荷重變形도에서 非熱處理群의 荷重變形도를 뺀 것이다.

表 6. 열처리에 의한 하중 변형도의 변화 (gm/mm)

	직 경	U loop	L loop	Circle loop
Stainless steel	.016	0.01 **	0.01 **	0.00
	.018	0.00	0.01 *	0.01 *
	.016 X.022	0.01	0.01	0.01
	.018 X.022	0.02 ***	0.01	0.00
Cobalt-chromium -nickel	.016	0.01 ***	0.01 ***	0.00
	.018	0.02 ***	0.01 **	0.01 ***
	.016 X.022	0.02 *	0.01	0.02 ***
	.018 X.022	0.04 ***	0.04 ***	0.02 *

* P < 0.05 ** P < 0.01 *** P < 0.001

表 6에서 熱處理에 의해 荷重變形도가 增加된 것 을 보여준다. 그 增加量은 loop 形成에 의한 것보다 작고, loop의 種類나 直徑別로 뚜렷한 樣相을 갖지 는 않았다. 그러나 材料에 따른 差異는 比較的 分

明하여, stainless steel보다는 cobalt-chromium-nickel wire에서 더욱 顯著하였다.

IV. 總括 및 考按

實驗에 使用된 測定器機는 注文製作하였는데, 304 type의 stainless steel을 材料로 하였고, 實驗時의 安定性을 높이기 위하여 下板의 幅을 上板의 幅보다 10cm크게 하였다.

또 荷重을 가할 때 試片이 垂直으로 휘어지면서 그 水平길이 가 짧아져서 caliper와 試片사이의 距離가 생기는 데서 發生하는 測定 誤差를 없애기 위해 caliper가 附着된 수평대를 左右로 움직일 수 있도록 하였다.

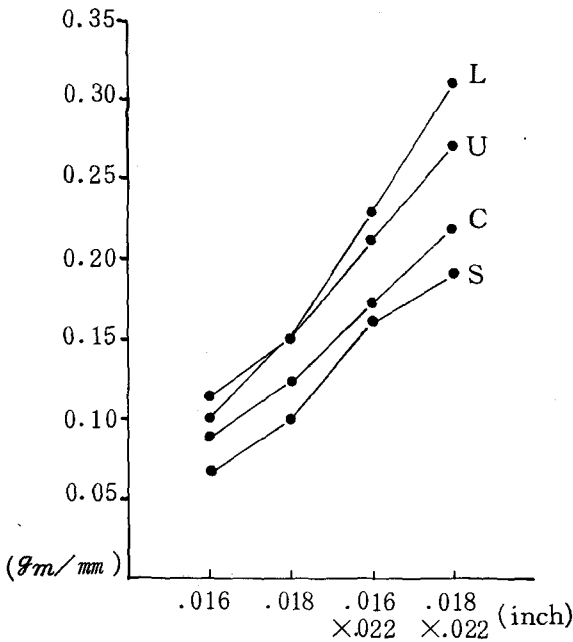
試片의 길이는 Backofen, Funk, Ingerslev의 實驗에 쓰인 試片의 平均 길이에 해당하는 10cm로 하였다.

彈性限度와 彈性領域의 決定은 荷重에 의해 屈曲된 距離의 0.2%가 永久變形되는 때의 荷重과 變位量으로 하였다. 이는 荷重變形도 曲線에서 彈性範圍와 朔性範圍가 어느 한 點으로 境界되지 않고 서서히 移行되기 때문이다. 따라서 永久變形을 認定할 수 있는 基準이 必要한 데, Ingerslev⁹⁾는 0.5mm의 永久變形이 생기는 것을 基準으로 하였고 Howe¹⁰⁾는 0.2%의 永久變形을 基準으로 하였다. 本實驗에서는 두 가지 材料와 네 가지 直徑의 試片이 쓰이므로 同一한 荷重에도 그 變位量이 다른 點을 考慮할 때 一律의인 數値보다는 各 變位量의 一定한 比率을 基準으로 하는 것이 合理的이어서 0.2% 變形도를 擇하였다.

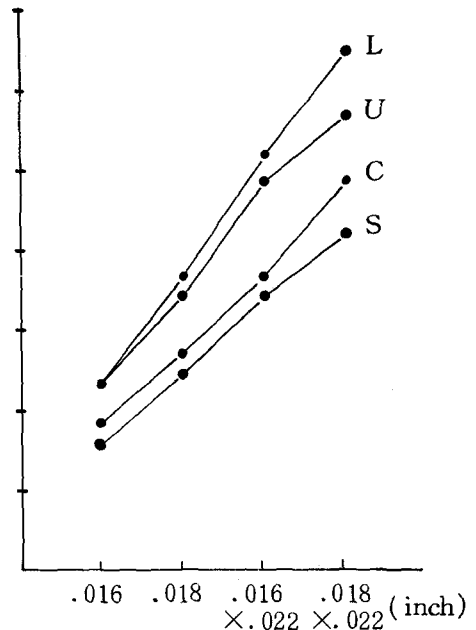
熱處理時의 溫度와 時間에 대해서는 여러 學者의 主張이 있으나 熱處理 時間에 대한 Ingerslev의 意見(20~25分)을 除外하고는 서로 큰 差異가 없다. 本實驗에서는 그 溫度와 時間을 가장 細分하여 實驗한 Funk의 結論에 따라서 850°F에서 3分間 熱處理하였다.

한번에 熱處理하는 試片의 數는 材料와 直徑이 同一한 한 種類의 loop를 9개씩 하였는데 實驗의 不注意등으로 못 쓰게 되는 境遇에 對備하여 3개씩을 追加하였고 熱處理 直後 殘熱에 의한 誤差를 줄이기 위해 試片의 數를 同一하게 하였다.

實驗結果, loop 形成時 發生하는 殘留應力에 의해 荷重變形도의 뚜렷한 增加가 있었다. (P < 0.05) 이



(A) Stainless steel wire



(B) Cobalt-chromium-nickel wire

S : 직선군

L : L loop

U : U loop

C : Circle loop

그림 4. 비 열처리군의 하중변형도

는 殘留應力에 의해 荷重變形도가 약간 減少한다는 Burstone의 主張이나 전혀 變化하지 않는다는 Ingersler의 見解에는 相反되지만 殘留應力이 荷重變形도를 增加시킨다는 Nikolai의 說明과는 一致 하는 것이다.

loop의 種類別 荷重變形도는 一貫된 傾向을 나타냈다. L loop가 모든 境遇에 가장 荷重變形도가 높았고 그 다음이 U loop였고, circle loop는 모든 材質과 直徑에서 가장 直線群에 가까운 값을 보였다. (그림 4)

이는 彈性領域을 넘지 않는 範圍에서 一定한 距離를 屈曲시킬 때 試片에 의해 發揮되는 힘이 L loop가 가장 크고 U loop-circle loop-直線群의 順序로 작아짐을 뜻한다.

L loop의 荷重變形도가 가장 큰 것은 U loop와 circle loop에 비해 loop의 形態가 複雜하고 屈曲回數가 많아 殘留應力이 더 많이 발생되었기 때문이라고 思慮된다.

loop形成에 의해 荷重變形도가 增加되는 幅은 모

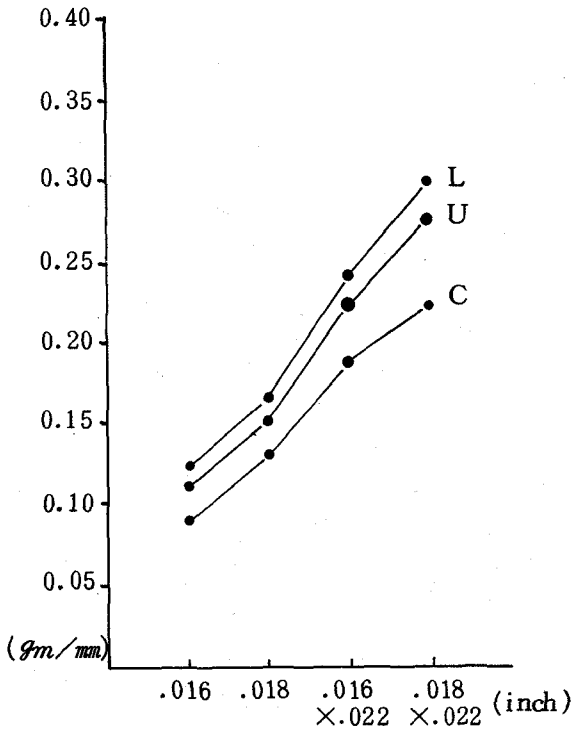
든 項目에서 stainless steel보다 cobalt-chromium-nickel wire가 크게 나타났다. (表 4) 原來의 直線試片도 그림 3에서 보듯이 cobalt-chromium-nickel wire가 더 큰 荷重變形도를 보였다. 이는 cobalt-chromium-nickel wire가 stainless steel wire 보다 綱性이 큰 材料임을 나타낸다.

直徑이 큰 wire일수록 荷重變形도가 높았고 loop形成에 의해 增加되는 量도 크게 나타났다. (表 4, 그림 4)

여기에서 直線 試片 自體의 荷重變形도가 直徑이 클수록 높은 것은 wire의 物理的 性質에 의한 것이고 loop形成에 의해 增加幅이 큰 것은 殘留應力을 나타내는 變位된 金屬原子의 量이 적은 wire에서 더 많기 때문이라고 생각된다.

熱處理群의 荷重變形도는 非熱處理群의 荷重變形도보다 높게 나타났다. (表 3, 그림 3, 表 6)

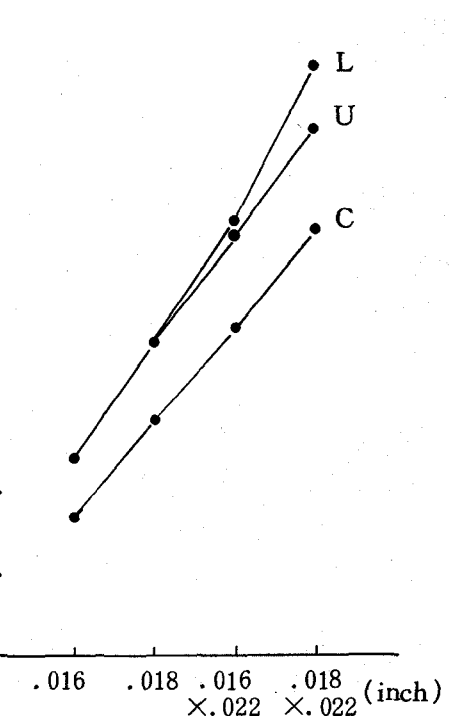
loop形成時 發生되는 殘留應力에 의해 荷重變形도가 增加되었으므로 熱處理를 통해 殘留應力이 除去되면 荷重變形도가 減少되어야 하겠으나 오히려



(A) Stainless steel wire

U : U loop

L : L loop



(B) Cobalt - chromium - nickel wire

C : Circle loop

그림 5. 열처리군의 하중변형도

增加된 것은, loop를 구부린 곳의 殘留應力은 제거되지만 試片의 나머지 部分에 대한 熱處理 效果에 의하여 相殺되기 때문으로 생각된다. loop別 荷重變形도의 크기 順序는 非熱處理群에서와 같이 L loop, U loop, circle loop으로 나타났다. (그림 5)

V. 結 論

弱하고 持續的인 矯正力을 얻기 위하여 弧線에 loop를 形成할 때 發生되는 殘留應力에 의하여 wire의 彈性性質에 어떤 變化가 생기며, 熱處理에 의한 變化 樣相은 무엇인지 照査하였다.

.016", .018", .016" x .022", .018" x .022"의 直徑을 갖는 stainless steel (Standard), cobalt-chromium-nickel (blue Elgiloy) wire 試片을 一定한 길이로 자른 후, 直線群, loop形成 非熱處理群, loop形成 熱處理群으로 나누었다.

loop의 形成은 U loop, L loop 및 circle loop 各

各을 規格대로 施行하였다.

熱處理는 furnace에서 850°F에서 3分間 加熱하였다.

各 試片에 대하여 彈性 屈曲 實驗을 行한 후 彈性限度와 彈性領域을 測定하고 이로부터 荷重變形도를 計算하였다.

直線群과 loop形成 非熱處理群을 比較하여 loop形成에 의한 荷重變形도의 變化를 보였다. 熱處理에 의한 變化는 loop形成 熱處理群과 非熱處理群의 荷重變形도를 比較하여 評價하였다.

위와같은 分析에서 다음의 結論을 얻었다.

1. stainless steel (standard)과 cobalt-chromium-nickel (blue Elgiloy) wire 모두 loop形成에 의하여 荷重變形도가 增加하였다.
2. 同一한 loop에서는 熱處理群이 非熱處理群보다 荷重變形도가 높았고, 이는 stainless steel (standard) 보다 cobalt-chromium-nickel (blue Elgiloy) wire에서 더욱 顯著하였다.
3. loop의 形態別 荷重變形도는 非熱處理群과 熱

處理群 모두에서 L loop, U loop, circle loop의 順序로 높았다.

4. 直徑이 큰 wire일수록 loop形成과 熱處理에 의 해 荷重變形度의 增加가 더 크게 나타났다.

(本 研究를 始終 指導해 주신 張英一 指導教授님 께 衷心으로 感謝드리며, 도움 말씀과 聲援하여 주신 徐廷勳教授님, 梁源植教授님, 南東錫教授님께 깊이 感謝드리고, 矯正學教室員 여러분께 謝意를 表합니다.)

REFERENCES

1. Backofen, W.A., and Gales, G.F.: The low temperature heat treatment of stainless steel for Orthodontics, *Angle Orthod*, 21: 117-124, 1951.
2. Burstone, C.J., Baldwin, J.J., and Lawless, D.T.: The application of continuous forces to Orthodontics, *Angle Orthod*, 31: 1-14, 1961.
3. Caddell, R.M.: Deformation and fracture of solids, 178, Prentice Hall Inc., 1980.
4. Funk, A.C.: The heat treatment of stainless steel, *Angle Orthod*, 21: 129-138, 1951.
5. Gere, J.M., and Timoshenko, S.P.: *Mechanics of materials*, 14, 101, 541-542, Brooks/Cole Engineering Division Monterey, California, 1984.
6. Graber, T.M., and Swain, B.F.: *Current orthodontic concepts and techniques*, 154-156, W.B. Saunders Co., 1975.
7. Graber, T.M., and Swain, B.F.: *Orthodontics current principles and techniques*, 596, The C.V. Mosby Co., 1985.
8. Howe, G.L., Greener, E.H., and Crimms, D.S.: Mechanical properties and stress relief of stainless steel orthodontic wire, *Angle Orthod*, 38:244-249, 1968.
9. Ingerslev, C.H.: Influence of heat treatment of bent orthodontic wire, *Angle Orthod*, 36: 236-247, 1966.
10. Jarabak, J.R., and Fizzell, J.A.: Technique and treatment with light-wire edgewise appliances, 64-71, The C.V. Mosby Co., 1972.
11. Lane, D.F., and Nikolai, R.J.: Effects of stress relief on the mechanical properties of orthodontic wire loop, *Angle Orthod*, 50: 139-145, 1980.
12. Martin, R.L., Sarkar, N.K., and Schwaninger, B.: Effect of heat treatment on various properties of blue Elgiloy, *J. Cl. Orthod*,
13. Nikolai, R.J.: Bioengineering analysis of orthodontic mechanics, 113-144, 233-269, Lea and Febiger, Philadelphia, 1985.
14. Skinner, E.W., and Phillips, R.W.: *The science of dental materials*, 255-263, 651-655, W.B. Saunders Co., 1960.
15. Thurow, R.C.: *Edgewise Orthodontics*, 42-66, The C.V. Mosby Co., 1982.
16. Weinstein, S.: Minimal forces in tooth movement, *Am. J. Orthod*, 53: 881-903, 1967.
17. 李成馥: 矯正用 彈線의 stress relief에 관한 實驗的 研究. *大齒矯誌*, 제1권 제1호, 9-14, 1970.

THE LOAD DEFLECTION RATE OF LOOPED WIRE AND ITS CHANGE BY HEAT TREATMENT

Yong-Kook Lee, D.D.S.

Dept. of Orthodontics, Graduate School, Seoul National University

(Directed by Prof. Yong-II Chang, D.D.S., M.S.D., Ph.D.)

This study was conducted to evaluate the effects of loop formation and heat treatment upon the elastic properties of orthodontic wires.

The specimens selected were .016", .018", .016x.022", and .018x.022" sized stainless steel (standard) and cobalt-chromium-nickel wires, and were divided into 7 groups as;

1. straight non-heat treated
2. U looped non-heat treated
3. L looped non-heat treated
4. Circle looped non-heat treated
5. U looped heat treated
6. L looped heat treated
7. Circle looped heat treated

Heat treatment was performed in Big Jane furnace at 850' F for 3 minutes.

The elastic limit and the elastic range of each specimen were determined by bending test, and load deflection rate was computed from those values.

The findings were as follows;

1. The formation of loop resulted in increased load-deflection rate for both stainless steel and cobalt-chromium-nickel wires.
2. The heat treated group showed higher load-deflection rate than non-heat treated group, which was more apparent in cobalt-chromiumnickel wire than in stainless steel wire.
3. L loop had the highest load-deflection rate among 3 types of loops, followed by U loop and circle loop.
4. The specimens with greater diameter displayed the more increase in load-deflection rate by looping and heat treatment.