

# 치과주조용 금-은-팔라듐합금의 물리적 특성에 관한 연구

서울대학교 치과대학 치과재료학교실

김 철 위

## STUDIES ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF SOME DENTAL CASTING GOLD-SILVER-PALLADIUM ALLOYS

Cheol-We Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Department of Dental Materials, College of Dentistry, Seoul National University.*

### .....> Abstract <.....

The purpose of this study was to measure and compare the tensile strengths, elongation and Vicker's hardness values by heat treatments of three commercial dental casting gold-silver-palladium alloys (Type A, B and G-50 alloys) used in Korea.

Instron universal testing instrument and Vicker's hardness tester were used to determine their physical properties.

The following results were obtained with the alloys tested.

1. It was determined that the tensile strengths generally tended to increase as the hardened condition ( $55.50 - 72.98 \text{ Kg/mm}^2$ ) than in softened condition ( $28.75 - 41.16 \text{ Kg/mm}^2$ ).
2. The results indicated that the elongation was the highest in the softened condition (12.30—27.0 %), and was the smallest in the hardened condition (3.6 — 5.8 %).
3. It was found that the Vicker's hardness number was the greatest in the type G-50 hardened alloys (304.0), and the smallest in the type A softened alloys (130.0).

### I. 서 론

금이 치과영역에 사용된 것은 이미 기원전 부터 이나, Paffenbarger 의 2인(1932)<sup>1)</sup>에 의하여 인레이 주조용금합금의 물리적성질과 규격이 발표된 이래, 1948년 미국금속학회에서 구강내 조건에 적합한 물리적 성질을 가진 4종의 치과용 금합금의 배합범위가 보고되었고, 그후 Brumfield(1954)<sup>2)</sup>에 의하여 치과용 귀금속합금에 관한 표준시험법이 제시

되어 1966년에는 미국치과의사협회규격 제 5 호로서 치과주조용 금합금이 제정되는 계기가 되었다.

지금까지 각종치과주조용합금에 관한 물리적 성질을 규명하여 실제 응용에 적합성 여부를 검토하기 위하여 수많은 연구가 발표되었는데, Leinfelder의 2인(1969)<sup>10)</sup>, Civizan의 2인(1972)<sup>11, 12)</sup>, Hesyby의 3인(1980)<sup>29)</sup>, Lee와 Jhee(1969)<sup>8)</sup>, Courley(1975)<sup>17)</sup>, Kim(1980)<sup>30)</sup> 및 Chang(1981)<sup>32)</sup> 등은 합금의 물리적 및 기계적인 특성에 관하여, 또 Hollenback(1963)<sup>4)</sup>, Ingersoll(1964)<sup>5)</sup> 및 Gettleman과 Harri-

son(1969)<sup>9)</sup> 등은 인장강도에 관하여 보고한바 있다.

금합금은 용도에 따라 요구되는 성질이 각각 다르므로 필요에 따라 열처리 방법이 변화되었는데, Kaires와 Thompson(1959)<sup>3)</sup> 및 Elbert와 Ryge(1965)<sup>6)</sup> 등은 열처리 차이에 따르는 경도변화를, Civizan의 4인(1972)<sup>12)</sup> 등은 기계적성질의 변화를, Leinfelder의 3인(1966)<sup>7)</sup> 및 Histsume의 3인(1980)<sup>26)</sup> 등은 열처리 방법에 따르는 변화를 보고한 바 있다.

한편 Nitkin과 Asgar(1976)<sup>19)</sup>, Gettleman(1980)<sup>25)</sup>, Sturdevant와 Leinfelder(1980)<sup>27)</sup> 및 Huget 외 2인(1982)<sup>34)</sup> 등은 저금함유합금의 특성에 관하여, Huget와 Civizan(1974)<sup>15)</sup> 및 Vermilyea외 2인(1980)<sup>28)</sup> 등은 금-은-팔라듐합금에 관하여 보고한 바 있다.

현재 국내에서는 귀금속합금에서 비귀금속합금에 이르기까지 수많은 종류의 치과주조용 합금이 사용되고 있고, 또 경제적인 이유로 금의 함량이 50% 이하인 저금함유합금과 은-팔라듐합금 및 니켈, 크롬이 주성분인 비귀금속합금이 치과보철용 합금으로 사용되는 보고가 있으나 이들 합금의 특성에 관한 정확한 자료도 알 수 없으며, 또 보사부 허가 품목인 국산치과주조용 합금도 대부분 그 특성이 알려져 있지않은 상태이다.

따라서 본 실험은 현재 국내에서 사용되고 있는 3종의 금-은-팔라듐 합금을 자료로 연화 및 경화 열처리의 차이에 따르는 인장강도, 연신률 및 비커스 경도의 변화등을 Instron 시험기와 비커스 경도기를 이용하여 비교 실험한 바 있어, 그 결과를 보고하는 바이다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 재료 및 시편제작

#### (1) 실험재료

현재 국내에서 사용되는 치과주조용 금-은-팔라듐합금 3종을 실험재료로 하였다(제 1 표).

Table 1. Compositions of dental alloys used in weight percentage.

Materials	Au	Ag	Pd	Cu	Zn	In
	%	%	%	%	%	%
Type A alloy	34 - 45	30 - 45	5 - 10	10 - 20	1 - 2	-
Type B alloy	12 - 18	55 - 65	18 - 25	8 - 15	1 - 2	-
Type G-50 alloy	45 - 55	25 - 35	5 - 10	10 - 15	1 - 2	1 - 5

### (2) 인장시편 및 연신률

미국치과의사협회규격 제14호, 치과주조용 코발트-크롬합금<sup>14)</sup>의 방법에 준하여 지름 2.5mm  $\phi$ , 표점거리 30mm  $\phi$ , 양단의 지름 5.0mm  $\phi$ 의 인장강도 주조시편을 각 합금마다 6 개씩 제작하여 실험하였다. (제 1, 2 도).

### (3) 열처리

A형과 B형합금은 일본공업규격 T-6106-74, 치과주조용 금-은-팔라듐 합금<sup>16)</sup>, 동규격 Z-2241, 금속재료인장시험방법<sup>16)</sup>, 한국공업규격 KSP 5105-78, 치과주조용 금-은-팔라듐합금<sup>23)</sup> 및 Leinfelder 외

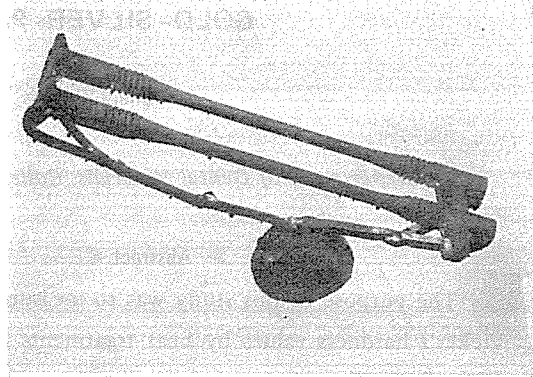


Fig. 1. The cast test specimens.

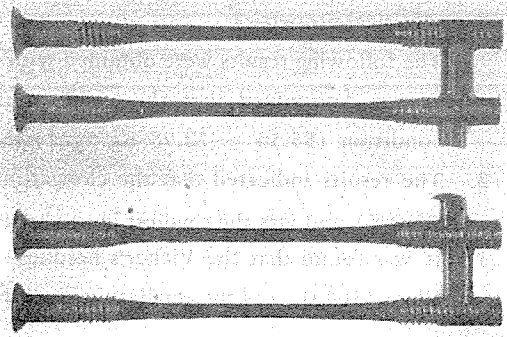


Fig. 2. Representative tensile castings.

3인(1966)<sup>7)</sup> 등에 규정된 열처리 방법에 준하여 시행하였는데, 연화열처리는 인장강도 주조시편을 800°C에서 3분간 가열한 다음 즉시 수중에 냉각시켰고, 경화열처리는 다시 450°C까지 가열하고 250°C까지 약 30분간 처리한 다음 공기중에서 냉각시켰다.

G-50형 합금은 미국치과의사협회규격 제5호, 치과주조용금합금<sup>13)</sup> 및 국제표준기구규격 ISO-1562-1976(E), 치과주조용 금합금<sup>20)</sup> 등의 방법에 준하여, 연화열처리는 주조후 급냉한 인장강도 시편을 700±10°C의 전기로에 10분간 가열한 다음, 실온의 물속에 급냉시켰고, 경화열처리는 연화열처리한 시편을 다시 450±5°C에서 2분간 가열한후 1분당 7±1°C의 속도로 250±5°C까지 30분에 걸쳐 균일하게 온도를 내린 다음 실온의 물속에 급냉하였다.

#### (4) 경도시편

Hesby 외 3인(1980)<sup>29)</sup> 및 미국치과의사협회 규격 제5호, 치과주조용 금합금<sup>13)</sup>의 방법에 준하여 인장시험후 파절된 시편중에서 실험군당 3개의 시편을 임의로 선택하여 금속현미경시료표본제작 방법에 따라 mounting press를 이용하여 성형한후, 연마포 100번, 200번, 400번, 600번, 1,000번 및 2,000번을 이용하여 차례로 평탄하게 연마하고, 알루미늄 현탁액으로 최종연마한 후, 경도측정에 사용하였다.

## 2. 측정기구 및 시험

### (1) 인장강도 및 연신률 시험

인장강도는 준비된 인장강도 시편에 표점을 표기한 후, Gettleman과 Harrison(1969)<sup>9)</sup>, Morris 외 3인(1979)<sup>24)</sup>, Hesby 외 3인(1980)<sup>29)</sup> 및 Huget 외 2인(1982)<sup>34)</sup> 등의 방법에 준하여 Instron 시험기(Inst-

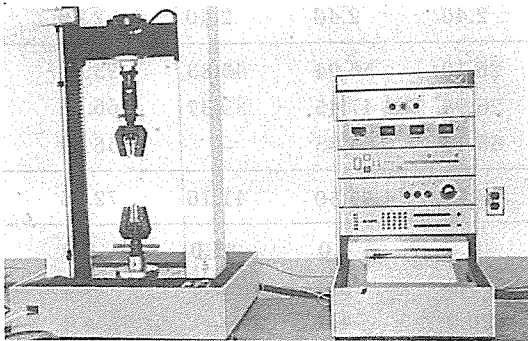


Fig. 3. Instron Universal Testing Instrument, Model 1122. Fractured specimen attached to assembly and vise grips.

ron Universal Testing Instrument, Model 1122)(제3도)의 상, 하 양측 물립장치(grips)사이에 수직으로 고정한후 5KN의 하중을 2mm/min의 속도로 장축에 평행하게 가하면서 시편이 파절될때의 수치를 시험기에 부착되어 있는 기록장치에서 측정한후, 다음 공식으로 인장강도를 구하였다.

인장강도(Tensile strength)=

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{P}{\pi r^2}$$

$\sigma_{max}$  : 인장강도 (kg/mm<sup>2</sup>)

$P_{max}$  : 최대인장하중 (kg/mm<sup>2</sup>)

$A_0$  : 인장시편의 원단면적 (mm<sup>2</sup>)

$r$  : 인장시편의 반지름

연신률은 미국치과의사협회 규격 제5호 치과주조용 금합금<sup>13)</sup>의 방법에 준하여 인장시험 전후의 표점거리를 측정한후 아래공식으로 연신률을 산출하였다.

연신률(Elongation)=

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100$$

$\epsilon$  : 연신률 (%)

$\Delta l$  : 늘어난 표점거리

$l_0$  : 원래의 표점거리

### (2) 경도시험.

Vermilyea 외 2인(1980)<sup>28)</sup>, Huget 외 2인(1982)<sup>34)</sup> 및 일본공업규격 Z-2244, 비카스경도 시험방법<sup>16)</sup> 등에 따라 비커스 경도기(Vicker's Hardness Tester, Terazawas Olympus, Japan)(제4도)를 이용하여 측정하였는데 대면각(angle between opposite faces)이 136°의 다이아몬드 4각추 압자를 사용하여, 시험편에 피라미드형의 오목부를 생기게 할때의 하중을 영구오목부의 대각선의 길이(diago-

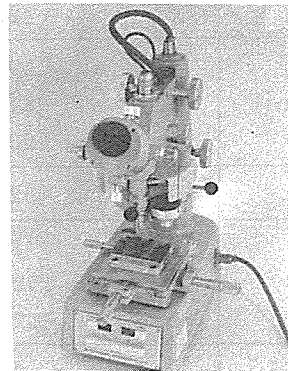


Fig. 4. Vicker's Hardness Tester, Terazawas, Olympus, Japan.

nal of indentation)에서 구한 표면적으로 나눈 값으로 다음 공식에 따라 산출하였다.

$$\text{비커스경도 (V. H. N.)} = \text{Hv} = \frac{2 P \sin \theta/2}{d^2} = 1.854 \frac{P}{d^2}$$

Hv : 비커스 경도치 (kg/mm<sup>2</sup>)

P : 하 중

d : 오목부의 대각선길이의 평균 (mm)

θ : 대변각 (136°)

### Ⅲ. 실험 성적

#### 1. 인장강도 및 연신률

A형, B형 및 G-50형등 3종의 치과주조용 금-은-팔라듐합금의 인장시편을 Instron 시험기에 장치

하고, 연화 및 경화열처리 차이에 따르는 인장강도와 연신률을 측정 한 결과는 제 2 표 및 제 5, 6 도와 같다.

인장강도는 연화열처리한 경우 28.75~41.16 kg/mm<sup>2</sup> 사이를 보이었는데, G-50형 합금이 41.16kg/mm<sup>2</sup>으로 가장 높게 나타났고, A형합금은 32.56kg/mm<sup>2</sup>으로서 다소 적게 나타냈으며, B형합금은 28.75 kg/mm<sup>2</sup>으로서 가장 낮은 것으로 나타났다.

경화열처리한 경우는 55.50~72.98kg/mm<sup>2</sup> 사이의 값을 보이었는데, A형 합금이 72.98kg/mm<sup>2</sup>으로 가장 높았고, B형합금은 55.50kg/mm<sup>2</sup>으로 가장 낮게 나타났다.

연신률은 연화열처리한 경우 12.3~27.0% 사이의 값을 보이었는데 인장강도의 결과와 유사하게 G-50형 합금에서 27.0%로 가장 높게 나타났고, A

Table 2. Tensile strengths and elongation values of some dental casting gold-silver-palladium alloys after heat treatments.

States	Number of Castings	Alloys tested					
		Type A Alloy		Type B Alloy		Type G-50 Alloy	
		Softened	Hardened	Softened	Hardened	Softened	Hardened
Load (Kg/mm <sup>2</sup> )	1.	165	292	118	194	182	325
	2.	167	363	122	149	178	243
	3.	110	—	150	285	—	213
ℓ (mm, φ)	1.	35.40	31.50	31.20	31.15	39.20	30.90
	2.	36.90	31.80	33.85	31.45	36.85	31.10
	3.	38.30	—	36.10	31.30	40.00	31.10
r (mm, φ)	1.	2.30	2.40	2.40	2.10	2.30	2.10
	2.	2.60	2.40	2.40	2.00	2.40	2.15
	3.	2.30	—	2.40	2.40	2.40	2.40
σB (Kg/mm <sup>2</sup> )	1.	39.73	65.68	26.10	56.04	43.83	93.88
	2.	31.47	80.28	26.98	47.45	39.37	66.66
	3.	26.49	—	33.17	63.03	—	56.53
Mean $\bar{M}$		32.56	72.98	28.75	55.50	41.16	72.35
ε (%)	1.	18.0	5.7	4.0	4.0	31.0	3.0
	2.	23.0	6.0	13.0	5.0	23.0	4.0
	3.	28.0	—	20.0	4.0	—	4.0
Mean $\bar{M}$		23.0	5.8	12.3	4.3	27.0	3.6

Each data represents the mean value for three measurements.

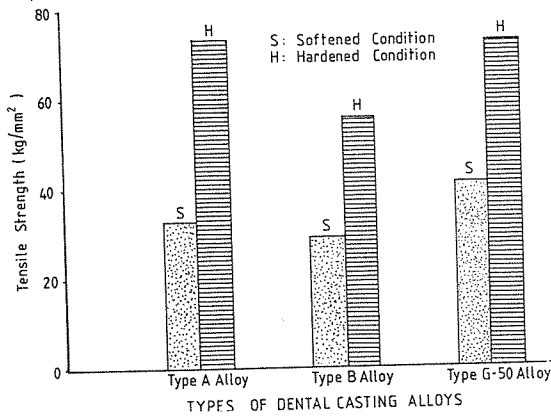


Fig. 5. Effect of heat-treatment on tensile strength values of different brands of dental casting gold-silver-palladium alloys.

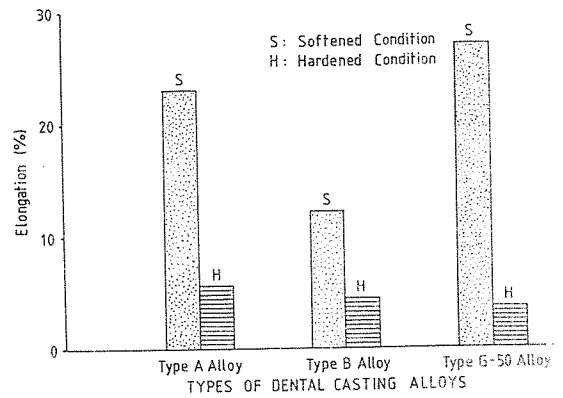


Fig. 6. Effect of heat-treatment on elongation values of different brands of dental casting gold-silver-palladium alloys.

형합금은 23.0%로서 다소 적게 나타났으며, B형 합금은 12.3%로서 가장 낮게 나타났다.

경화열처리한 경우는 현저히 감소되어 3.6~5.8% 사이의 값을 보이었는데, 이 중 A형합금에 5.8%로서 가장 높았고, B형합금은 4.3%로서 가장 낮게 나타났다.

## 2. 비커스 경도

3종의 치과주조용 금-은-팔라듐 합금에서 연화 및 경화열처리에 따른 각종합금의 비커스 경도치를 계속한 결과는 제 3 표 및 제 7 도와 같다. 치과주조용 금-은-팔라듐합금의 비커스경도는 전반적으로 합금의 조성차이와 '처리에 따라 큰 변화를 볼 수 있었는데, 합금의 조성차이에 따르는 변화를 보면

Table 3. Vicker's hardness values of some dental casting gold-silver-palladium alloys after heat treatments.

States	Number of castings	Alloys tested					
		Type A alloy		Type B alloy		Type G-50 alloy	
		Softened	Hardened	Softened	Hardened	Softened	Hardened
H.W	1.	16.7	14.2	19.2	13.0	17.9	11.7
	2.	16.4	12.3	16.6	13.4	16.3	13.0
	3.	17.1	12.7	16.5	14.2	19.4	11.8
V.W	1;	15.0	12.8	20.3	13.7	18.8	12.7
	2.	16.7	13.0	21.5	14.3	16.1	12.7
	3.	16.6	13.4	19.2	14.7	18.2	12.1
M	1.	16.1	12.5	19.8	13.4	18.4	12.2
	2.	16.6	12.7	19.1	13.9	16.2	12.9
	3.	16.9	13.1	17.9	14.5	18.8	12.0
V.H.N.	1.	179	254	118	258	137	311
	2.	168	287	127	240	177	279
	3.	162	270	145	220	131	322
Mean $\bar{M}$		169.7	270.3	130.0	239.3	148.3	304.0

Each data represents the mean value for three measurements.

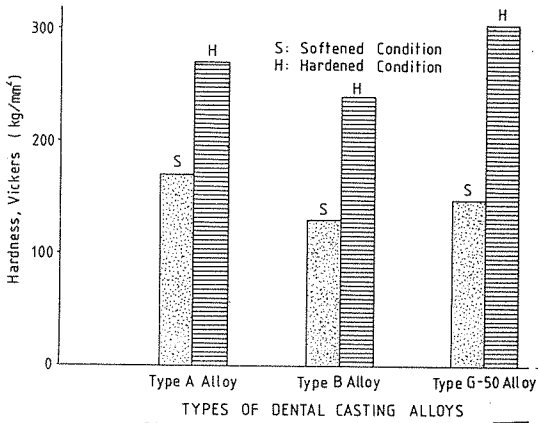


Fig. 7. Effect of heat-treatment on Vicker's hardness values of different brands of dental casting gold-silver-palladium alloys.

G-50형 합금은 경화열처리 주조체에서 304.0으로 가장 경도치가 높은것으로 나타났으며, 다음 A형 합금의 경화열처리 주조체에서 270.3, 연화열처리 주조체가 169.7로 나타났으며, B형합금의 연화열처리 주조체는 130.0으로 가장 낮은 등, 제품별로 차이를 보였다.

열처리 차이에 따르는 변화를 보면, 연화열처리한 경우 A형합금은 169.7로 가장 큰 수치를 보였고, 다음 G-50형 합금이 148.3이고, B형합금은 130.0으로 가장 적게 나타났으며, 경화열처리한 경우는 G-50형 합금이 304.0, A형합금은 270.3, B형합금은 239.3으로 가장 낮은 것으로 나타났다.

#### IV. 총괄 및 고찰

##### 1. 조성 및 열처리에 의한 인장강도와 연신률의 변화

순금은 그 물리적성질이 치과보철물로는 적합치 않기 때문에 합금이나 또는 열처리 방법으로 적절한 특성을 줄수 있다. 생체에 가장 안정성이 있는

금속은 물론 금이나 금가의 고가, 의료시혜의 확산 등으로 대용합금의 등장을 가속시켜 근년에는 팔라듐합금, 인듐합금, 은-니켈합금, 심지어는 은-주석 합금도 사용되고 있다.<sup>30)</sup> Wagner(1975)<sup>18)</sup>에 의하면 1970년경부터 경제적인 이유로 금 50~60%, 은 20~35%; 팔라듐 5~10%로 배합한 금-은-팔라듐 합금이 개발되었는데, 금과 팔라듐의 함량이 최소 50%일때 부식이 방지된다고 하였다.

Craig(1980)<sup>31)</sup>은 치과주조용 금합금에서 최소 75% 이상의 귀금속이 필요한 것은 변색과 부식을 최소로 하는것과 합금의 주조성을 높이는 것이라고 하였다.

연신률은 주조체 연단의 적합성을 결정하는 기준이 되는데, 일반적으로 치과용금합금의 귀금속 함량이 감소되면, 강도가 높아지고, 연신률이 낮게되어 주조체의 적합성이 감소된다.<sup>32)</sup> Craig(1980)<sup>30)</sup>에 의하면 치과주조용 금합금 제 3형의 인장강도는 400~450 MN/m<sup>2</sup>이나, 귀금속 함량이 52~65%인 A형합금은 550~590 MN/m<sup>2</sup>이다. 佐治寛三(1977)<sup>22)</sup>은 일본에서 널리 사용되는 합금에서 금의 함량은 12%~45%까지 이며, 금이 50%이상 이면, 주조용금합금으로 분류하고, 팔라듐 10~20%와 은 10~70%로 광범위하게 사용된다고 하였다. 또 佐治寛三(1977)<sup>21)</sup>은 금 12%, 팔라듐 20%, 은 56.5%, 동 10%, 아연 1.5%인 합금에서 연화열처리 할때, 인장강도는 55kg/mm<sup>2</sup>, 연신률은 22%였고, 경화열처리 할때 인장강도는 80kg/mm<sup>2</sup>, 연신률은 8%로 감소된다고 하였다. 제 4 및 5표에서 최근의 저금함유합금에서 경화열처리 하였을때 강도는 증가 하였으나 연신률은 현저히 감소되는것을 볼 수 있다.

일본공업규격 T-6106-74, 치과주조용 금은 팔라듐 합금<sup>16)</sup>은 제 1종과 제 2종으로 분류하며, 금 12%, 팔라듐 20%, 은 40% 이상으로 정하고있다. 또 제 1종 합금을 연화열처리 할때 인장강도는 40~60kg/mm<sup>2</sup>, 연신률은 10~40%이고, 제 2종합금은

Table 4. Typical compositions of some modern noble metal dental alloys.

Alloys	Au	Ag	Pd	Cu	In, Sn, Fe, Zn, Ca
	%	%	%	%	Bal.
Type III (low gold)	46	39	6	8	—
Type III (silver-palladium)	—	70	25	—	—
Type IV (low gold)	56	25	4	14	—
Type IV (silver-palladium)	15	45	25	14	—

Table 5. Physical properties of some modern noble metal dental alloys.

Alloys	Yield Strength	Hardness	Elongation
	(MPa)	(VHN)	(%)
Type III (low gold)	S 241	S 138	S 30
	H 586	H 231	H 13
Type III (silver-palladium)	S 262	S 143	S 10
	H 323	H 154	H 8
Type IV (low gold)	S 372	S 186	S 38
	H 720	H 254	H 2
Type IV (silver-palladium)	S 434	S 180	S 10
	H 586	H 270	H 6

H : Hardened condition.

S : Softened condition.

경화열처리 할때 인장강도는 65~100kg/mm<sup>2</sup>이며, 연신률은 2~15%로 정하고 있다.

한국공업규격 KSP 5105-78, 치과주조용 금은 팔라듐합금<sup>23)</sup>은 제 1종 및 제 2종으로 분류하는데 금은 5% 이상, 금과 팔라듐의 배합량은 30% 이상으로 정하고 있으며, 제 1종 합금을 연화열처리 하였을때 인장강도는 40kg/mm<sup>2</sup> 이상이며, 연신률은 7% 이상으로 낮게 정하였고, 제 2종 합금은 경화열처리 할때 인장강도는 55kg/mm<sup>2</sup> 이상이며, 연신률은 1.5% 이상으로 낮게 정하고 있다.

## 2. 조성 및 열처리에 따른 비커스경도의 변화

Craig(1980)<sup>31)</sup>에 의하면 치과주조용 금합금 제 3형의 비커스 경도가 120~150kg/mm<sup>2</sup>일때 귀금속 함량이 52~65%인 A형 합금과 35~45%인 B형합금의 경도는 170~200kg/mm<sup>2</sup>였고, 22~30%인 C형합금은 140~160kg/mm<sup>2</sup>으로 낮았는데 본 실험에서도 유사한 결과를 보였다.

본 실험에서 비커스 경도는 연화열처리 하였을때 130.0~169.7 사이로서 A형(169.7), G-50형(148.3) 및 B형(130.0)합금의 순이었으나 경화열처리 하였을 때는 239.3~304.0 사이로 G-50형(304.0), A형(270.3) 및 B형(239.3)합금의 순서로 나타나는 등, 전반적으로 경화열처리 할때 증가하였다. 치과주조용합금은 그 조성과 입자의 크기가 정도에 영향을 주며, 일반적으로 강도는 강도와 비례하나 정도는 열처리로 큰 변화가 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 제 4 및 5 표에서와 같이 최근의 치과용저

금합유합금 및 은-팔라듐합금은 경화열처리 상태에서 정도가 증가하고 있다.

## V. 결 론

현재 국내 치과계에서 사용하고 있는 3종의 치과주조용 금-은-팔라듐 합금을 자료로 연화 및 경화열처리 차이에 따르는 인장강도, 연신률 및 비커스경도등의 변화를 Instron 시험기와 비커스 경도기를 이용하여 비교 측정한 바 다음의 결과를 얻었다.

1. 인장강도는 경화열처리한 경우(55.50~72.98 kg/mm<sup>2</sup>)가 연화열처리 한것(28.75~41.16kg/mm<sup>2</sup>)보다 크게 나타났다.

2. 연신률은 3.6~27.0%로서 연화열처리 할때(12.30~27.0%) 크게 나타났으며 경화열처리한 경우(3.6~5.8%)는 현저히 감소 하였다.

3. 비커스경도는 G-50형 합금을 경화열처리 한 경우 가장 높게(304.0) 나타났고, B형합금을 연화열처리한 경우 가장 낮게(130.0) 나타났다.

## - REFERENCES -

1. Paffenbarger, G.C., Sweeney, W.T., and Isaacs, A.: Wrought gold wire alloys, Physical properties and a specification, J.A.D.A., 19:2061, 1932.

2. Brumfield, R.C.: Tentative standard methods for testing precious metal materials, J.A.D.A., 49:17, 1954.
3. Kaires, A.K., and Thompson, J.C.: The effect of heat treat variables on the microstructure and hardness of a cast dental gold alloys, J.Dent. Res., 38:888, 1959.
4. Hollenback, G.M.: A study of the tensile strength of cast gold rods, J. Calif. Dent. Res., 31:168, 1963.
5. Ingersoll, C.E.: Investigation of tensile specimen design for dental casting gold alloys, J. Dent. Res., 43(Ab M 19):918, 1964.
6. Elbert, C.A., and Ryge, G.: The effect of heat treatment on hardness of chromium-cobalt alloy, J. Prosthet. Dent., 15:873, 1965.
7. Leinfelder, K.F., O'Brien, W.J., Ryge, G., and Fairhurst, C.W.: Hardening of high-fusing gold alloys, J. Dent. Res., 45:392, 1966.
8. Lee, W.C., and Jhee, H.T.: A study of the physical properties of dental casting gold alloys used in Korea, J.K.D.M., 4:2, 1969.
9. Gettleman, L., and Harrison, J.D.: Improved tensile specimen for dental casting gold alloys, J. Dent. Res., 48:278, 1969.
10. Leinfelder, K.F., Servais, W.J., and O'Brien, W.T.: Mechanical properties of high-fusing gold alloys, J. Prosthet. Dent., 21:523, 1969.
11. Civizan, S., Huget, E.F., and Marsden, J.E.: Characteristics of two gold alloys used in fabrication of porcelain-fused-to-metal restorations, J.A.D.A., 85:1309, 1972.
12. Civizan, S., Huget, E.F., Godfrey, G.D., Lichtenberger, H., and Frank, W.A.: Effect of heat treatment on mechanical properties of two nickel-chromium based casting alloys, J.Dent. Res., 51:1537, 1972.
13. Guide to dental materials and devices, A.D.A.S., No. 5 for dental casting gold alloy, ed 7, Chicago, A.D.A., 1974.
14. Guide to dental materials and devices, A.D.A.S., No. 14 for denture base metal casting alloys, ed 7, Chicago, A.D.A., 1974.
15. Huget, E.F., and Civizan, S.: Status report on palladium-silver based crown and bridge alloys, J.A.D.A., 89:383, 1974.
16. Japan Industrial Standards, T-6106-74, 치과 주조용 금은 팔라듐 합금, Z-2241, 금속재료 인장시험 방법, Z-2244, 비카스 경도 시험 방법, 1974.
17. Gourley, J.M.: Current status of semi-precious and conventional gold alloys in restorative dentistry, J.C.D.A., 8:453, 1975.
18. Wagner, E.: Copper free dental gold alloys, United States Patent. No. 628, 766, 1975.
19. Nitkin, D.A., and Asgar, K.: Evaluation of alternative alloys to type III gold for use in fixed prosthodontics, J.A.D.A., 93:622, 1976.
20. International Organization for Standardization, ISO-1562-1976 (E), Dental casting gold alloys, 1976.
21. 佐治寛三: 치과주조용 금-은-팔라듐 합금의 결정미세화법, 일본국특허청, 특허공보, 52-5447, 1977.
22. 佐治寛三: 미량의 레늄을 첨가하여 결정을 미세화한 치과주조용 금-은-팔라듐합금, 일본 특허청, 특허공보, 52-71330, 1977.
23. Korean Industrial Standard, KSP 5105-78, Dental casting gold-silver-palladium alloy, 1978.
24. Morris, H.F., Asgar, K., Rowe, A.P. and Nasjleti, C.E.: The influence of heat treatments on several types of base-metal removable partial denture alloys, J.Prosthet. Dent., 41:388, 1979.
25. Gettleman, L.: Status report on low-gold-content alloys for fixed prostheses, J.A.D.A., 100:237, 1980.
26. Hisatsume, K., Shiraiishi, T., Ohta, M., and Yamane, M.: Age hardening in dental white gold alloys, I.A.D.R. Program and abstracts,



No. 153, 1980.

27. Sturdevant, C.M., and Leinfelder, K.F.: Two year clinical evaluation of low gold alloys, I.A.D.R. Program and abstracts, No. 819, 1980.
  28. Vermilyea, S.G., Huget, E.F., and Vilca, J.M.: Observations in gold-palladium-silver and gold-palladium alloys, *J. Prosthet. Dent.*, 44:294, 1980.
  29. Hesby, D.A., Kobes, P., Garver, D.G., and Pelleu, G.B.: Physical properties of a repeatedly used nonprecious metal alloy *J. Prosthet. Dent.*, 44:291, 1980.
  30. Kim, I.C.: An experimental study on physical properties, Tarnish and corrosion resistance of developmental alloy, *K.H. Univ. D.J.*, 2:11, 1980.
  31. Craig, R.G., et al.: Restorative dental materials, the C.V. Mosby Co., 1980.
  32. Chang, I.T., et al.: A comparative study on the chemical composition and mechanical properties of four low-gold content dental casting alloys manufactured in Korea, *J. Kor. Acad. Prosthodont.*, 19:17, 1981.
  33. Kim, C.W.: Studies on the casting accuracy of some dental casting gold-silver-palladium alloys. *J.K.D.M.*, 8:7, 1981.
  34. Huget, E.F., Vermilyea, S.G., and Vilca, J.M.: Low-gold fixed prosthodontic alloys, *J. Prosthet. Dent.*, 48:159, 1982.
-