레이저 용접과 납착법으로 연결된 귀금속성 금속-도재 합금의 물리적 성질

경희대학교 치과대학 치과보철학교실, *성균관대학교 의과대학 치과학교실

오 정 란·이 석 형*·우 이 형

Mechanical Properties of Precious Metal-Ceramic Alloy Joined by the Laser-Welding and the Soldering Method

Jung-Ran Oh, Seok-Hyung Lee*, Yi-Hyung Woo

Department of Prosthodontics, Division of Dentistry, Graduate School, Kyung Hee University
*Samsung Medical Center, College of Medicine, Sungkyunkwan University

This study investigated the mechanical properties of precious metal-ceramic alloy joined by the laser-welding and the soldering compared with the parent metal. Twenty-four tensile specimens were cast in precious metal-ceramic alloy and divided into three groups of eight. All specimens in the control group(group 1) were left in the as-cast condition. Group 2 and 3 were the test specimens, which were sectioned at the center. Eight of sectioned specimens were joined by soldering with a propane-oxygen torch, and the remaining specimens were joined by laser-welding. After joining, each joint diameter was measured, and then tested to tensile failure on an Instron machine. Failure loads were recorded ,and then fracture stress(ultimate tensile strength), 0.2% yield strength and % elongation calculated. These data for three groups were subjected to a one-way analysis of variance(ANOVA). Neuman-Keuls post hoc test was then used to determine any significant differences between groups. The fracture locations, fracture surfaces were examined by SEM(scanning electron microscope).

The results were as follows: 1) The tensile strength and 0.2% yield strength of the soldered group(280.28±49.35㎫, 160.24±26.67㎫) were significantly less than both the as-cast group(410.99±13.07㎫, 217.82±17.99㎫) and the laser-welded group(383.56±59.08㎫, 217.18±12.96㎫). 2) The tensile strength and 0.2% yield strength of the laser-welded group were about each 98%, 99.7% of the as-cast group. There were no statistically significant differences in these two groups($p<0.05$). 3) The percentage elongations of the soldered group(3.94±2.32%) and the laser-welded group(5.06±1.08%) were significantly less than the as-cast group(14.25±4.05%) ($p<0.05$). 4) The fracture of the soldered specimens occurred in the solder material and many porosities were showed at the fracture site. 5) The fracture of the laser-welded specimens occurred also in the welding area, and lack of fusion and a large void was observed at the center of the fracture surface. However, the laser-welded specimens showed a ductile failure mode like the as- cast specimens.

The results of this study indicated that the tensile strengths of the laser-welded joints were comparable to those of the as-cast joints and superior to those of the soldered joints.

Key Words : tensile strength, precious metal-ceramic alloy, laser-welding, soldering

레이저 용접과 납착법으로 연결된 귀금속성 금속-도재 합금의 물리적 성질

경희대학교 치과대학 치과보철학교실, *성균관대학교 의과대학 치과학교실

오 정 란·이 석 형* ·우 이 형

Ⅰ. 서 론

치과보철학에서 납착(soldering)은 주조체의 길이가 긴 가공의치를 절단하여 재연결하는 방법으로 흔히 사용되고 있는 작업이다. 과거에 금관 및 가공의치는 거의 금합금으로 제작되었고 납착용 금속 또한 금으로, 치과적인 시각으로는 매우 단순한 과정이었다. 그러나, 오늘날 치과에서는 거의 1500종류의 합금이 다양한 구성과 비율로 사용되고 있어 납착과정 또한 단순하지 않으며 그 결과도 만족하기 어려운 경우를 종종 경험하게 된다[1]. 이를 극복하기 위해 많은 치의학 연구에서 절단면간 간극거리, indexing 기술, 납착용 매몰재 등과 관련된 납착의 정확도 및 인장강도에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다.

납착이란 모금속간의 적절한 간격에 저용융온도의 이종 금속(filler metal 또는 solder)을 흘려 넣어 절단된 모금속을 연결하는 방법이다. 이러한 결합은 납착금속이 모금속 간에 wetting되는 것일 뿐, 금속들 간의 용융(melting), 또는 진정한 융합(fusion)이 이루어지는 것이 아니다[2]. 이와 같이 납착은 그 자체로 근본적인 단점을 가지고 있다. 또한 납착금속의 용융열원으로 사용되는 gas torch나 전기자극으로 인해 모금속의 입자크기를 변화시키는 HAZ(heat affected zone)이 넓어져 모금속의 인장강도를 저하시킨다[3].

이러한 바람직하지 못한 효과를 극복하고자 열원을 변화시키고 이종금속을 배제하는 방향으로 관심들이 옮겨졌고, 이에 1970년대에 금속을 연결하는 방법으로 레이저를 이용하려는 시도가 이루어지기 시작했으나[4),5)], 장치 제작의 어려움과 그에 비해 상대적인 비효용성으로 인해 각광받지 못하였다. 그러나, 지난 십여년간 레이저의 질이 향상되었고, 임프란트와 titanium 합금의 사용이 증가함에 따라 다시 그 효용성이 증가하고 있다. 용접(welding)이란 매개금속이 있든 없든 열이나 압력을 가해 금속 계면의 융합(fusion) 또는 재결정화(recrystallization)를 통해 금속의 국소적인 결합을 형성하여 금속을 연결하는 방법이다[6]. 현대 레이저의 특징은 단파장의 light beam으로 매우 미세한 초점을 형성하여 고밀도에너지를 만들 수 있다는 것이다. 이러한 beam은 금속에 에너지를 전달해 금속의 온도를 국소적으로 액화온도이상까지 올려놓는다. 이에 즉각적으로 금속이 증발되어 공동이나 keyhole이 형성되고 keyhole 주변에 용융금속의 저장고가 만들어진다. 열원이 이동함에 따라 keyhole이 저장고로부터 용융된 금속으로 채워지고 이것이 응결되어 weld bead를 형성한다. 레이저 용접은 위와 같은 방법으로 이루어져 좁은 HAZ을 가지므로 작업 변형과 강도 저하를 최소화시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 납착과 달리 융제(flux)나 이종의 납착 금속을 필요로 하지 않아 부식의 위험이 적으며 다공성을 감소시킴으로써 높은 합착강도를 갖는다는 장점이 있다[3].

이와 같이 그 장점은 입증되었으나, 레이저 용접에 영향을 미치는 요소는 매우 다양하여 이를 표준화시키는데 어려움이 있다. 우선 크게 빛의 인자와 재료 인자, 두 가지로 나눌 수 있다. 빛의 인자로는 파장, 발진 형태, beam mode, beam 직경, 출력(power), 출력밀도(power density), pulse 폭(pulse duration), spot 직경(초점을 벗어난 거리), beam이 퍼

지는 각도, 초점거리, 초점심도, beam west 직경 등이 있으며, 재료 인자로는 beam 흡수율(반사율), 표면거칠기, 산화막의 유무, 열전도율, 열확산율, 융점, 비등점, 용잠해열, 증발잠열 등이 있다. 귀금속 합금은 낮은 융점에도 불구하고 낮은 beam 흡수율, 높은 열전도율로 인해 비귀금속 합금에 비해 동일한 용융깊이를 얻으려면 보다 높은 출력 밀도가 필요하다는 것을 쉽게 추측할 수 있다. 이 중 특히 낮은 beam 흡수율, 높은 열전도율을 갖고 있는 금(Au), 은(Ag), 동(Cu)의 함량이 레이저 용접에 매우 중요한 요소라는 것을 알 수 있다.

그러나 레이저 용접에 관한 연구[14-17]는 pure titanium과 titanium alloy을 비롯한 비귀금속에 관해 주로 이루어져 왔을 뿐, 귀금속에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 실험에서는 금함량이 높은 귀금속성 금속-도재 합금의 레이저 용접과 납착에 의해 연결되었을 때의 물리적 성질-인장강도와 파절양상-을 모금속의 물리적 성질과 비교하고자 하였다.

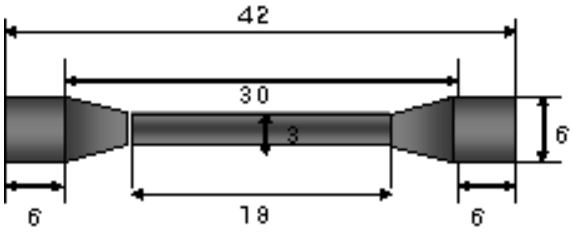


Fig. 1. Test specimen was fabricated according to fabrication specification of ISO 6871 for casting gold alloy (Unit : mm)

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 시편의 제작

인장력 시험을 위해 직경 3.0±0.1㎜, 길이 18㎜, 끝부분이 6㎜의 원추부분을 갖는 아령모양의 인장시편 규격에 맞춰 아크릴릭 레진을 기계절삭하여 시편의 레진 주형을 제작하였다(Fig.1, 2). 위의 레진 주형을 제조사의 지시에 따라 인산염계 매몰재(Fugivest, GC Co., Japan)에 매몰, 귀금속성 금속-도재 합금(Degudent G, Degussa Co., Germany)으로 주조하였다(Table 1).

주조 후 주조 과정 중 발생되는 외층 산화막을 제거하고 거치표면을 만들어 레이저 용접 동안 레이저 beam의 반사를 막기위해 50㎛의 Al2O3로 모래분사 후 초음파 세척기로 세척하였다(Fig.3).

위와같은 방법으로 총 24개의 시편을 제작하고

Table 1. Composition of Degudent G material (Degudent G, Degussa Co., Germany)

metal elements	% by weight
gold (Au)	86.0
platinum (Pt)	10.4
rhondium (Rh)	1.6
iron (Zn)	0.5
indium (In)	1.5

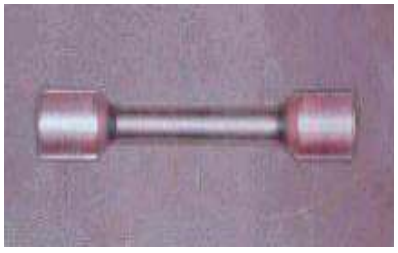


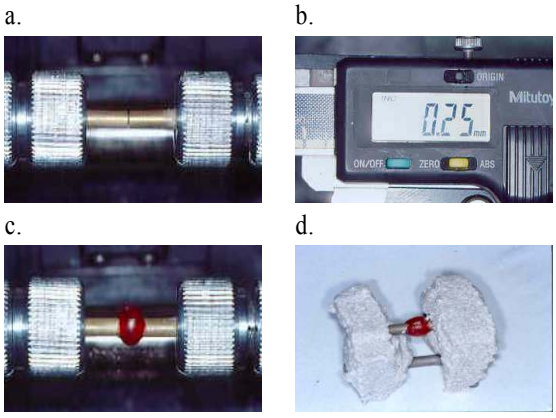
Fig. 2. Acrylic resin was milled for the uniform speciment fabrication.



Fig. 3. Tensile specimen cast in precious metal-ceramic alloy.



Fig. 4. Tensile specimen was sectioned at the center.



Fg. 5. a, Specially designed holding device was used to keep two halves of sectioned specimen in contact.
b, The soldering gap distance was kept in 0.25㎜ for all specimens of soldered group.
c, Indexing above condition with pattern resin..
d, Investing the specimen indexed with soldering investment.

방사선적으로 내부결함 여부를 확인한 후, 무작위로 8개씩 선택하여 3개 군으로 분류하였다. 이 중 절단하지 않은 일체주조형의 시편을 대조군(1군)으로하고, 절단하여 납착법으로 연결될 시편(2군), 레이저 용접으로 연결될 시편(3군)을 실험군으로 하였다. 2군과 3군의 시편은 시편의 중심부를 표시하고 특별히 고안된 고정편에 시편을 고정시킨 후 wire-cut식 방전 가공기(Sodick Co., Japan)를 이용하여 시편의 장축에 수직이 되도록 정밀하게 절단하였다(Fig.4). 절단된 시편의 절단면은 2000 grit의 사포로 주의깊게 연마한 후, 초음파 세척기로 약 3분간 세척하고, 약 2분간 steam cleaner로 세척하였다.

2. 납착

납착할 시편의 절단면간 간격을 특별히 고안된 장치를 이용해 0.25㎜로 일정하게 유지시키고 이 상태를 Pattern resin(GC Co. Japan)을 이용하여 고정시킨 후 납착용 매몰재(CM soldering investment, CENDRES & METAUX SA, Swiss)를 이용하여 매몰하였다(Fig.5. a-d). pattern resin을 제거한 후, 절단

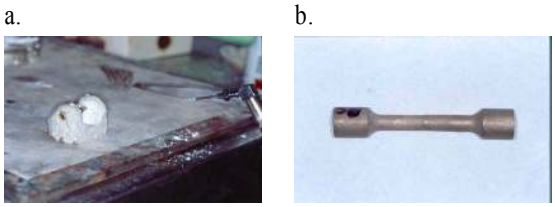


Fig. 6. a, Soldering with a propane-oxygen torch
b, A soldered joint after finishing

면에 fluoride계 flux(Oxynon®, Degussa Co., Germany)를 도포하고 납착용 금속으로는 Degudent®-Lot G1(Degussa Co,, Germany, Table 2)을 사용하여 gas torch방식(propane- oxygen torch; 1010℃ -1030℃)으로 납착하였고, 납착부위는 carbornudum point로 마무리하였다(Fig.6. a, b).

3. 레이저 용접

레이저 용접을 시행하기 전에 beam의 반사를 막기 위하여 절단면과 절단 인접부위를 50㎛의 Al_2O_3로 모래분사하고 carbon marking을 한다.

레이저 용접시 절단면간을 특별한 간격없이 최대한 긴밀하게 접촉하도록 고정하고 beam으로부터 시편이 일정한 수직 거리를 유지하면서 beam의 조사 방향에 대해 삼차원적으로 움직임이 가능하도록 제작된 특수 고정 장치를 사용하여 레이저 용접을 시행함으로써 레이저 용접 과정 중 발생할 수 있는 오차를 최소화하고 레이저 용접 과정을 표준화하였다(Fig.7. a, b).

레이저 용접 과정 동안 용접 공간 내에 아르곤 가스

Table 2. Composition of Degudent®-Lot G1 material (Degudent G, Degussa Co., Germany)

metal elements	% by weight
gold (Au)	64.0
platinum (Pt)	0.4
silver (Ag)	34.9
rhondium (Rh)	0.2
indium (In)	0.6

a. b.

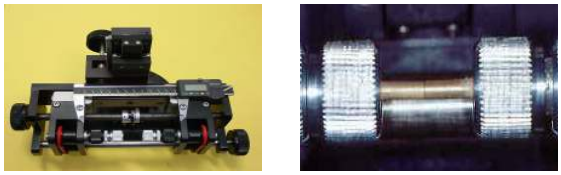


Fig. 7. a, Specially designed holding device to hold the specimen during laser-welding
b, Specially designed holding device was used to keep two halves of sectioned specimen in contact as close as possible.



Fig. 8. Alpalaser (Alpa Co., Germany)

를 주입시켜 레이저 조사 부위의 대기와의 접촉을 막아 금속의 산화를 방지하고 기포 발생을 최소화 하도록 하였다. 레이저 용접 기계는 Alpalaser (Alpa Co., Germany)를 사용하였으며(Fig.8, Table3), 조사 조건을 peak pulse power 230 V, pulse duration 9.0㎳, pulse frequency 1.5㎐, spot size 1.0㎜로 하였다. 용접 부위의 응력발생을 최소화하기 위하여 서로 반대되는 네 부위부터 용접을 시행한 후, 초기 용접점의 60-70%가 중첩되도록 용접을 시행하였다. 용접 후 용접부위가 빛나는 은색을 나타내면 적절한 용접된 것으로 판단하였다(Fig.9). 용접 후 실온에서 5분간 서냉하고, 용접부위를 carborundum point로 마무리 하였다.

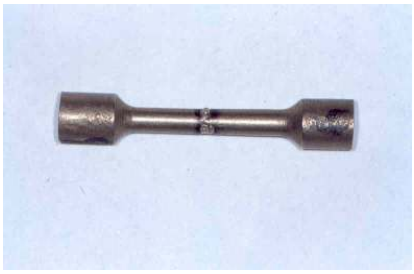


Fig. 9. A laser-welded joint exhibited a shiny silver surface. It was accepted as suitable welding quality.

Table 3. Technical data of Alpalaser(Alpa Co., Germany)

laser crystal	Nd:YAG
wave length	1.06㎛
average power	35W, optional 40W
peak pulse power	up to 5.5kV, optional 9kV
pulse energy	10mJ-55J, optional 75J
pulse duration	0.5-20㎳
pulse frequency	single pulse-10㎐/continuous pulse
diameter of focal spot	0.2-2.0㎜, continuously variable
depth of penetration	about 2.0㎜ in gold about 4.0㎜ in Co-Cr/Ti
focus setting	motorized

4. 물리적 성질의 측정

인장력 시험을 시행하기 전에 대조군과 실험군 시편의 납착부위와 레이저 용접부위의 직경을 측정하였다. 모든 시편을 만능 시험기(Instron machine, Instron Co., U.S.A)에 장착하여 1㎜/min의 loading rate로 인장력(tensile load)을 가하여, 극한 인장강도(ultimate tensile strength), 0.2%항복강도(0.2% yield strength), %연신율(% elongation)을 측정하였다.

5. 통계분석

세 군간의 인장강도, 0.2%항복강도, %연신율의 자료는 윈도우즈용 SPSS 통계프로그램(release 10.0,

SPSS, Chicago, IL, U.S.A)을 이용, One-way Analysis of Variance(AVOVA)와 Neuman-Keuls Post Hoc Test를 통해 자료 분석 및 각 군간의 유의성을 검증하였다.

Ⅲ. 연구성적

절단하지 않은 일체주조형의 1군, 절단 후 납착한 2군, 절단 후 레이저 용접한 3군의 인장력에 의해 파절된 시편의 파절양상을 관찰하고, 만능시험기를 통해 얻어진 응력-변형율곡선으로부터 인장강도, 0.2%항복강도, %연신율을 측정하였다(Table 4-6, Fig.10-12). 납착한 2군의 8개의 시편 중 1개는 표본값에서 크게 벗어나므로 표본에서 제외하기로 하였다.

1. 인장강도

인장강도의 크기는 일체주조형의 1군(410.99±13.07㎫), 레이저 용접한 3군(383.56±59.08㎫), 납착한 2군(280.28±49.35㎫)의 순서를 나타냈다.

3군의 평균 인장강도는 1군의 98%를 나타냈으며,

Table 4. Ultimate tensile strength, 0.2% yield strength and percentage elongation of the precious metal-ceramic alloy at as-cast condition

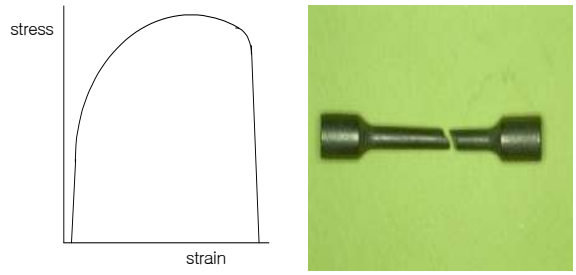
specimen No.	ultimate tensile strength (㎫)	0.2% yield strength (㎫)	% elongation
1	413.41	230.15	15.8
2	406.19	197.27	14.0
3	416.32	210.42	19.9
4	404.39	203.84	11.9
5	428.39	200.56	17.9
6	384.69	217.00	8.8
7	420.48	240.01	16.6
8	414.10	243.30	9.1
mean	410.99	217.82	14.25
standard deviation	13.07	17.99	4.05

Table 5. Ultimate tensile strength, 0.2% yield strength and percentage elongation of the precious metal-ceramic alloy joined by soldering Statistic calculation was performed except No. 8 specimen.

specimen No.	ultimate tensile strength (㎫)	0.2% yield strength (㎫)	% elongation
1	218.49	161.10	2.2
2	238.89	138.09	3.8
3	390.52	157.82	5.7
4	316.36	123.16	8.4
5	250.26	174.25	2.3
6	251.66	160.11	2.8
7	295.77	207.13	2.4
8	50.83	50.83	1.7
mean	280.28	160.24	3.94
standard deviation	59.08	26.67	2.32

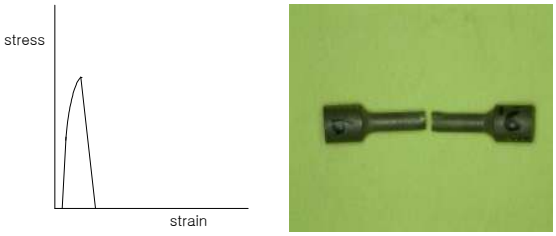
Table 6. Ultimate tensile strength, 0.2% yield strength and percentage elongation of the precious metal-ceramic alloy joined by laser-welding

specimen No.	ultimate tensile strength (㎫)	0.2% yield strength (㎫)	% elongation
1	357.94	192.60	4.2
2	457.53	218.91	6.3
3	355.61	218.91	4.3
4	418.75	223.25	5.7
5	373.29	234.01	5.0
6	335.07	222.68	4.3
7	328.38	203.81	3.9
8	441.87	223.25	6.8
mean	383.55	217.18	5.06
standard deviation	43.95	12.96	1.08



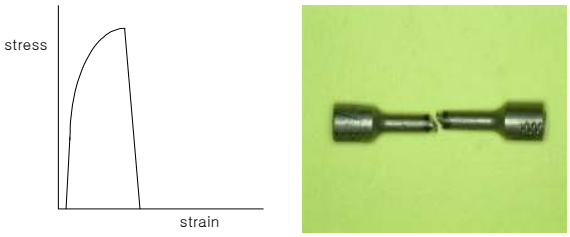
a. b.

Fig. 10. a, Stress-strain curve of the precious metal-ceramic alloy at as-cast condition
b, Fractured tensile specimen of the precious metal-ceramic alloy at as-cast condition



a. b.

Fig. 11. a, Stress-strain curve of the precious metal-ceramic alloy joined by soldering
b, Fractured tensile specimen of the precious metal-ceramic alloy joined by soldering



a. b.

Fig. 12. a, Stress-strain curve of the precious metal-ceramic alloy joined by laser-welding
b, Fractured tensile specimen of the precious metal-ceramic alloy joined by laser-welding

두 군간에는 통계학적으로 유의차가 없었다($p<0.05$).

2군은 1군, 3군에 비해 통계학적으로 유의성있게 낮은 값을 보였다($p<0.05$)(Table 7 and Fig.13).

2. 0.2%항복강도

0.2%항복강도의 크기는 일체주조형의 1군(217.82±17.99㎫), 레이저 용접한 3군(217.18±12.96㎫), 납착한 2군(160.24±26.67㎫)의 순서를 나타냈다.

3군의 평균 0.2%항복강도는 1군의 99.7%를 나타냈으며, 두 군간에는 통계학적으로 유의차가 없었다($p<0.05$).

2군은 1군, 3군에 비해 통계학적으로 유의성있게 낮은 값을 보였다($p<0.05$)(Table 8 and Fig.14).

3. %연신율

%연신율을 비교해 볼 때, 납착한 2군(3.94±2.32%)과 레이저 용접한 3군(5.06± 1.08%) 모두 일

Table 7. Mean ultimate tensile strength of control group and test groups (㎫)

	mean	SD	Turkey grouping
as-cast group	410.99	13.07	A
soldered group	280.28	49.35	B
laser-welded group	383.56	59.08	A

A is superior to B significantly($p<0.05$).

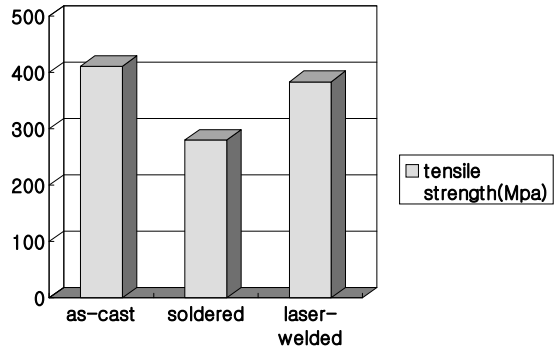


Fig. 13. Mean ultimate tensile strength of control group and test groups (㎫)

Table 8. Mean 0.2% yield strength of control group and test groups (㎫)

	mean	SD	Turkey grouping
as-cast group	217.82	17.99	A
soldered group	160.24	26.67	B
laser-welded group	217.18	12.96	A

A is superior to B significantly($p<0.05$).

Table 9. Mean percentage elongation of control group and test groups (㎫)

	mean	SD	Turkey grouping
as-cast group	14.25	4.05	A
soldered group	3.94	2.32	B
laser-welded group	5.06	1.08	B

A is superior to B significantly($p<0.05$).

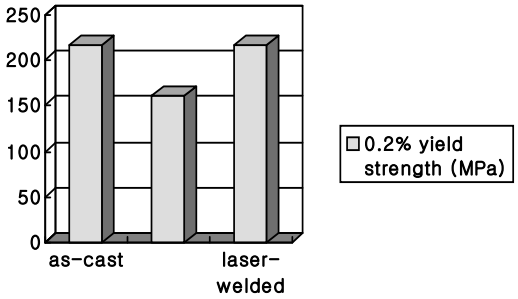


Fig. 14. Mean ultimate tensile strength of control group and test groups (㎫)

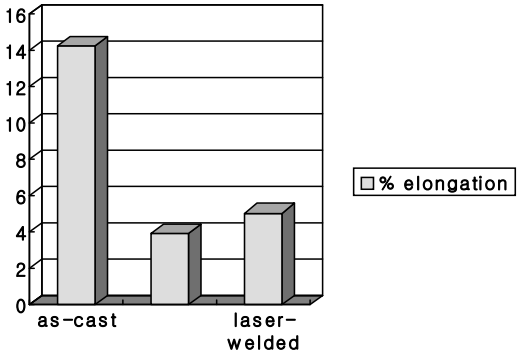


Fig. 15. Mean percentage elongation of control group and test groups (㎫)

체주조형의 1군(14.25± 4.05%)에 비해 낮은 값을 나타냈으며, 이는 통계학적으로 유의성있는 차이를 보였다($p<0.05$)(Table 9 and Fig.15).

4. 파절면 관찰

파절위치와 파절면을 SEM(XL30, Phillips Co., Netherlands)으로 관찰하였다. 일체주조형의 1군에서의 파절은 인장시편의 중심부에서 무작위적으로 발생하였으며 파절양상은 불규칙적이고 거친 표면을 갖는 연성파절(ductile failure)양상을 나타냈다(Fig. 16). 납착한 2군은 납착부 내에서 파절이 발생하였고 취성파절(brittle failure)양상을 나타냈으며 납착내부에 다수의 기포를 갖고 있었다(Fig.17). 레이저 용접한 3군은 레이저 용접부위 내에서 파절되었으나 파절양상은 1군과 유사하게 연성 파절 양상을 나타냈으며, 파절면 중심부에 용접이 이루어지지 않은 부위가 있으며 심부에 큰 기포를 갖고 있었다(Fig.18).

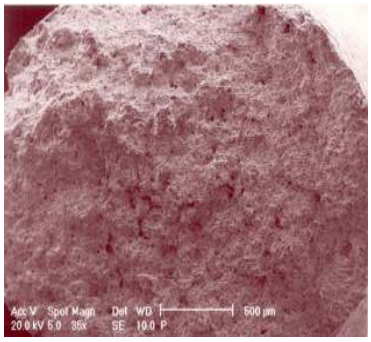


Fig. 16. SEM fractograph of as-cast specimen of the precious metal-ceramic alloy. Note ductile failure mode with irregular and rough surface (original magnification × 35).

Ⅳ. 총괄 및 고안

일체주조형의 1군의 파절양상은 Fig.16에서 보듯이 연성파절양상을 나타내며, 파절위치는 무작위적



Fig. 17. SEM fractograph of soldered specimen of the precious metal-ceramic alloy. Note many porosities with various size (original magnification × 35).

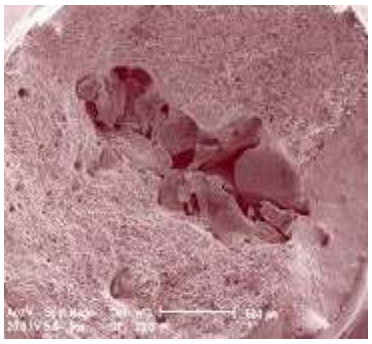


Fig. 18. SEM fractograph of laser-welded specimen of the precious metal-ceramic alloyshows ductile failure mode like the fractograph of as-cast specimen ,but lack of fusion and a large void at the center of fracture surface

으로 발생되었고, 높은 0.2%항복강도와 높은 극한 인장강도, 높은 %연신율을 보여주었다.

납착한 2군의 파절양상은 Fig.17에서 보듯이 취성파절양상을 나타내며, 파절위치는 모두 납착금속 내에서 발생하였고, 항복강도, 인장강도 연신율에서 모두가 일체주조형의 1군과 레이저 용접한 3군에 비해 통계적으로 유의성있게 낮은 값을 나타냈다. 이것은 납착의 근본적인 한계를 나타낸 것이다. 납착은 모금속의 용융온도보다 낮은 용융온도를 갖는 이종의 납착용을 녹여 흘려넣는 방법이다. 이러한 열원의 온도로는 모금속의 HAZ은 넓게 형성할 뿐 모금속의 용융은 일어나지 않으므로 모금속과 납착용 금속간에 진정한 융합이 이루어지는 것이 아니라 wetting이나 adhesion일 뿐이다. 따라서 인장력에 의한 파절(tensile fracture)은 납착 금속 내에서 일어나며 파절 부하(fracture load)도 제조사에서 제시한 납착 금속의 인장강도보다 낮은 값을 보여주게 된다[3]. 이렇게 납착용 금속의 인장강도보다 낮은 부하에 파절되는 것은 SEM 사진(Fig.17)에서 볼 수 있듯이 연결부 내의 기포가 주원인인 것으로 분석된다. 납착부 내의 기포는 융제가 적절한 산화방지 기능을 수행하지 못했거나 납착도중 gas의 발생이 그 원인이라 볼 수 있다.

레이저 용접한 3군의 파절 양상은 비록 레이저 용접부위와 그 주변에서 파절이 발생하였지만 1군과 비슷한 연성파절양상을 나타내었다(Fig.12. b and Fig.18). 또한 항복강도와 인장강도는 각각 1군의 99.7%, 98%로 이 두 군간에는 통계학적으로 유의차가 없었다. 다만 연신율에서는 1군과 통계적으로 유의성있는 차이를 보였다.

레이저 용접의 정확도와 인장강도 등의 물리적 성질에 관해 많은 연구들이 있었다. Dawes와 Lingenfelter는 레이저 용접이 다른 두 금속을 융합용접하데 가장 좋은 방법 중 하나라고 하였다[8].

NaBadalung과 Nicholls는 코발트-크롬 합금(Co-Cr Alloy)에 있어서 전기납착(electric-brazing), 레이저 용접, 일체주조형 연결의 인장강도를 실험한 결과 일체주조형의 인장강도가 가장 높았으며, 전기납착에 비해 레이저 용접 연결이 인장강도가 우수하였다고 하였다[3]. MacEntee 와 Hawbolt는 Co-Cr 합금을 접합시키는 방법으로 이종금속을 이용한 납착보다 동종금속을 이용한 welding이 인장강도와 전단강도가 더 크다고 하였다[18]. Preson과 Reisbick는 비귀금속 주조 합금의 레이저 용접의 연결강도는 통법의 납착법에 비해 우수하며 이는 거의 모금속의 인장강도에 근접할 만하다고 하였고, 귀금속의 경우는 통법의 납착의 연결강도가 레이저 용접의 연결강도와 비슷하거나 더 우수하다고 하였다[9]. Smith 등은 금속-도재금합금을 포함한 네 종류의 다른 금합금의 인장강도 실험에서, 레이저 용접은 납착을 시행한 연결보다 균일하고 큰 강도를 갖는다고 하였다[5]. Wiscott 등은 금-팔라듐 합금(Au-Pd alloy)에 있어서 다섯 가지의 연결방법(propane-oxygen torch를 사용한 전납착, 도재소환로를 이용

한 후납착, 적외선 열원으로 시행한 전납착, 적외선 열원으로 시행한 후납착, 레이저 용접)의 인장강도, 피로저항, 파절면의 특징 등을 비교실험 하였는데, 그 중 레이저 용접을 시행한 연결이 가장 우수하였다고 하였다[10]. 위와 같은 많은 연구를 통해 볼 때, 레이저 용접은 합금의 구성성분과 함량에 따라 다양한 결과를 나타내었다. 이는 레이저 용접이 빛과 재료의 상호작용이라는 점과 따라서 적절한 레이저 용접은 재료의 물성과 표면 상태의 파악이 매우 중요한 요소임을 의미하는 것이라 볼 수 있다. 따라서 재료의 성분과 함량에 따라 조사조건(peak power, pulse duration, spot size 등)을 적절히 조절하는 것이 매우 중요하다. Toshihiro Togaya과 Teruyasu Shinosaki는 레이저 용접은 열전도율이 낮고 빛 흡수율이 높을수록 잘 일어나기 때문에 열전도율이 높고 빛 흡수율이 낮은 '귀금속'의 레이저 용접은 상대적으로 용이하지 않으나 귀금속도 레이저 용접이 적절한 조건하에서 시행된다면 접합에 큰 문제는 없다고 하였다[11].

본 실험에서 귀금속 함량이 매우 높은 금속-도재 합금(Table 1)을 사용했음에도 불구하고 모금속의 인장강도에 준하는 연결강도를 나타내는 것은, 비록 합금이기는 하나 86.0%의 높은 순도를 갖고 있어 레이저 용접의 조사조건의 적정한 조절이 비교적 용이했으며, 낮은 beam 흡수율과 매우 높은 열전도율을 갖고 있어 레이저로 용융시킬때 매우 강한 빛을 요하는 금속원소인 은(Ag)과 동(Cu)이 함유되어있지 않고 귀금속이나 비귀금속에 준하는 높은 beam 흡수율과 낮은 열전도율을 가진 백금(Pt)이 10%이상 함유되어 있기 때문인 것으로 생각된다. SEM 사진(Fig.16과 Fig.18)에서 레이저 용접이 이루어지지 않은 심부를 제외하고 용접된 부위를 관찰하면 주조된 모금속의 파절면과 유사한 양상을 나타내는 것을 보아도 인장강도 특히 항복강도에서 모금속의 항복강도에 필적할 만한 결과(모금속의 99.7%)를 나타내는 것을 뒷받침한다고 볼 수 있다. 그러나 항복강도에 비해 인장강도 면에서 조금 더 낮은 인장강도(모금속의 98%)를 나타내는 것은 다음의 두 가지 원인에서 비롯되었다고 생각된다. 첫째, 심부에 레이저 용접이 이루어지지 않은 부분이 있고 그 부위로 레이저 용접시 급격한 금속의 응고로 중심부위에 공기가 빠져나오지 못하고 갇혀 큰 기포가 형성되었기 때문이다. 둘째, 납착보다는 그 범위가 작겠으나 HAZ(heat affected zone)이 존재하기 때문이다. NaBadalung과 Nicholls은 레이저 용접된 시편의 인장강도에 가장 큰 영향을 주는 요인은 내부의 기포라 하였다[3]. Russell 등은 레이저의 에너지 증가시 초과의 에너지는 재료의 표면에 기포를 발생시키고 이런 기포에 따라 표면의 강도가 감소한다고 하였다[19]. Lancaster는 HAZ의 크기가 접합부의 강도에 큰 영향을 준다고 하였다. 열원에 의해 용접이 일어나는 부위 인접한 금속은 간접적으로 영향을 받아 구조적인 변화가 일어나 입자가 커지고, 입자의 크기 증가는 인장강도의 감소를 가져오게 된다고 하였다[12]. Tee-Khin 등은 티타늄 합금의 실험에 있어서 레이저 용접 후 모금속에 비해 티타늄 미세 구조적 변화가 있었다고 하였다[13]. 본 연구에서도 %연신율의 값이 대조군에 비하여 낮게 나온 것은 위와 같은 이유 때문인 것으로 보인다.

본 실험에서 레이저 용접의 연결 강도는 납착에 비해 우수하였을 뿐 아니라 모금속의 인장강도에 필적할 만 하였다. 그러나, 심부의 미용접부위와 이 부위의 기포형성은 연결강도를 떨어뜨리는 원인이 되므로, 재료와 그에 따른 조사조건에 대한 많은 연구를 통해 용융깊이를 개선시키는 연구가 필요하리라 생각된다.

Ⅴ. 결 론

귀금속성 금속-도재 합금의 납착한 것, 레이저 용접한 것을 일체주조형의 모금속의 물리적 성질과 비교 연구하고자 하였다.

24개의 인장시편을 귀금속성 금속-도재 합금으로 주조하고 무작위로 8개씩 세 군으로 분류하여, 일체주조형 시편을 대조군(1군)으로하고, 나머지 시험군은 시편의 중앙부위를 절단하였다. 절단된 시편 중 8 개는 propane-oxygen torch 방식으로 납착하였고, 나머지 8개의 시편은 레이저 용접하였다. 각 군의 연결부의 직경을 측정한 후, Instron machine으로 인장력을 가하여 파절응력을 측정해 극한 인장강도, 0.2%항복강도, % 연신율을 계산하였다. ANOVA와 Neuman-Keuls post hoc test를 사용하여 세 군의 실험값의 통계적 분석을 시행하였다. 또한 SEM을 이용하여 파절면을 관찰하였다.

위와 같은 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 납착은 레이저 용접과 모금속에 비해 통계학적으로 유의성있게 낮은 인장강도와 0.2%항복강도를 보였다($p<0.05$).
2. 레이저 용접은 모금속에 준하는 인장강도(98%), 0.2%항복강도(99.7%)를 나타냈다.
3. 레이저 용접과 납착은 모금속에 비해 통계학적으로 유의성있게 낮은 %연신율을 보였다 ($p<0.05$).
4. 납착 시편의 파절은 납착부 내에서 발생하였으며, 납착부 내에 다수의 기포를 관찰할 수 있었다.
5. 레이저 용접 시편의 파절은 용접 부위에서 발생하였고 중심부에 미용접부위와 큰 기포를 관찰할 수 있었다. 그러나, 레이저 용접 시편의 파절 양상은 모금속과 유사한 연성 파절 양상을 나타냈다.

참 고 문 헌

1. Herbert T. Shilingburg et al. : Fundamentals of Fixed Prosthodontics -3rd ed. Quintessence Publishing Co. 1998; 509-510.
2. EI-Ebrashi MK, Asgar K & Bigelow WC : Electronic microscopy of goldsoldered joints. J Dent Res 1968; 47:5-11.
3. Darunee P. NaBadalung and Jack I. Nicholls : Laser welding of cobalt chromium removable partial denture alloy. J Prosthet Dent 1998; 79(3):285 -290.
4. Gorman T. & Smith D. : Laser welding of prostheses - An initial report. J Prosthet Dent 1970; 24:472-479.
5. Gordon T. & Smith D. : Laser Welding of Gold Alloys. J Dent Res 1972; 51(1):161-7
6. American Society for Metals Handbook Committee. Glossary. In : Metal Handbook, Desk Edition, ed 9. Cleveland : Am Soc Metals, 1992 ; 1-73.
7. Toshihiro Togaya & Teruyasu Shinosaki : Introduction to LASER Welding in Dentistry(2). Quintessence of Dental Technology 1999; 24(10):44-55.
8. Dawes C. : Laser welding. Cambridge : Abington Publishing Ltd. , in association with The Welding Institute : 1992.
9. Preston J. D. and Reisbick M. H.: Laser fusion of selected dental casting. J Dent Res 1975;232-238.
10. H.W.A.Wiskott et al : Mechnical and elemental characterization of solder joints and welds using a old-palladium alloy. J Prosthet Dent 1997; 77:607-16.
11. Toshihiro Togaya & Teruyasu Shinosaki : Introduction to LASER Welding in Dentistry(1). Quintewwence of Dental Technology 1999; 24(9):36-45.
12. Lancaster J.F. : Metallurgy of welding. 5th ed. London : Chapman & Hall ; 1993 38-55, 79-92, 157-8.
13. Tee-Khin Neo et al : Mechnical Properties of Titanium Connectors. Int J Prosthodont 1996;9:379-393.
14. Sjogren G, Andresson of M, and Bergman M: Laser welding of titanium in dentistry. Acta Odontol Scand. 1988;46:247-253.
15. Tsongi Chai, & Chia Kai Chou : Mechanical propertis of laser-weldined cast titanium joints under different conditions. J Prosthet Dent 1998;79:477-83.
16. Einar Berg et al : Mechanical properties of laser-welded cast and wrought titanium. J Prosthet Dent 1995;74:250-7.
17. A.R.Hruska : Quality for pure titanium casting, laboratory soldering, intraoral welding, and a device to aid in making uncontaminated castings. J Prosthet Dent 1991;66:561-5.
18. MacEntee M. I., Hawbolt E. B., and Z모디 J. I. : The tensile strength and shear strength of a base metal weld joint used in dentistry. J Dent Res 60(2) : 154-158, 1981.
19. Russell R. Wang and Clarence T. Chang : Thermal modeling of laser welding for titanium dental restorations. J prosthet Dent 1998;79:335-42.