

## 연결방법에 따른 주조체 변위에 관한 3차원적 비교연구

부산대학교 치과대학 치과보철학교실

임장섭 · 전영찬 · 정창모

### I. 서 론

보철물을 주조제작하기 위하여 사용되는 재료나 방법들은 보철물 제작과정 동안 일어나는 크기 변화를 보상할 수 있도록 주의 깊게 선택되어야 한다. 비록 다양한 재료나 제작기술의 개발로 인하여 일체주조(one-piece cast) 보철물의 적합도가 많이 개선되었다 할지라도, 길이가 길거나 만곡형인 고정성 보철물일 경우에는 보철물의 적합도가 저하될 가능성이 매우 크며<sup>1-4)</sup>, 근자에 수요가 급진적으로 증가하고 있는 임플란트 보철물 역시 길고 주조금속량이 많다는 문제점으로 인하여 일체주조법으로 만족할 만한 적합도를 얻기는 매우 어렵다<sup>5-8)</sup>.

따라서 적합도가 우수한 보철물을 제작하기 위한 방법으로 임상에서는 긴 고정성 보철물을 분할 주조한 후 분할된 주조체들을 서로 연결시키는 방법들이 추천되고 있다<sup>9-11)</sup>. 분할된 주조체의 연결에 흔히 사용되고 있는 방법으로는 납착법<sup>1,4,9-11)</sup>과 주조 연결법(cast-joined connector)<sup>12-17)</sup>이 있으며, 납착법은 분할주조체를 고정하는 방법에 따라 매몰재블록 납착법과 스탠드 납착법(soldering stand-soldering)<sup>18,19)</sup>으로 나눌 수 있다.

일체주조보철물과 납착보철물의 적합도에 관하여 선학들의 많은 비교연구<sup>1-4,20-22)</sup>가 보고된 바 있으나, 아직 두 가지 방법 중 어느 방법이 더 우수한 적합도를 보이는가에 대해서는 일치된 견해가 없다. Fusayama 등<sup>20)</sup>과 Huling과 Clark<sup>21)</sup>은 일체주조법, Gegauff와 Rosenstiel<sup>22)</sup>은 납착법이 더 우수한 변연

적합도를 보인다고 보고하였으나 Ziebert 등<sup>1)</sup>은 3분 계속가공의치에 있어 두 방법 간에 적합도의 차이가 없음을 보고하였다. 또한 Bruce<sup>2)</sup>는 보철물의 길이가 15.5mm 이하일 경우에서만 일체주조법을 추천하고 있는 실정이다. 한편 小柳律純男<sup>18)</sup>이 고안한 스탠드 납착법과 Perdigon과 Van Eepoel<sup>12)</sup>, Engel<sup>13)</sup>, Weiss와 Munyon<sup>14)</sup> 등이 소개한 주조 연결법도 술자의 경험적 판단에 따라 임상에서 많이 사용되고 있으나 이러한 연결방법을 이용하여 제작된 보철물 적합도에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

또한 연구방법의 측면에서 보철물 적합도에 관한 선학들의 연구<sup>1-4,20-22)</sup>는 대부분 원래의 계측 모형에 보철물을 재위치시킨 후 이차원적인 계측을 통하여 보철물의 변연 적합도를 상호 비교하였다. 그러나 이러한 방법은 주조체의 변형이나 주조체 내면의 상태 등이 적합도에 영향을 줄 수 있으며<sup>23)</sup> 또한 보철물의 실제적인 삼차원적 변위를 반영하지 못한다는 문제점을 안고 있다.

현대의 계측장비의 발달과 더불어 관련 컴퓨터 프로그램의 개발로 인하여 침필 접촉식 방법(stylus contact technique)<sup>24)</sup>, 사진촬영술을 이용한 방법(photogrammetric technique)<sup>25)</sup>, 레이저를 이용한 방법(laser videography)<sup>26)</sup> 등이 보철물의 삼차원적 변위를 계측하기 위한 방법으로 임상에 소개되고 있다. 이 중 접촉식 삼차원 좌표측정법은 상호 수직인 세 개의 축과 세 개의 평면으로 이루어지는 삼차원 공간 내의 위치를 보철물 내에서 직접 좌표계를 설정하며, 절대좌표계 대신 상대좌표계를 이용함으로써

써 측정장비 자체의 왜곡으로 인한 측정오차와 시편 재위치 시 발생할 수 있는 공간적 오차를 완전히 배제시킬 수 있다는 장점<sup>27-29)</sup>이 있다.

따라서 본 연구에서는 일체주조 고정성 국소의치와, 주조체 분할 후 매몰재블록 납착법, 스탠드 납착법, 및 주조 연결법으로 연결된 고정성 국소의치의 연결방법에 따른 주조체 변위를 접촉식 삼차원 좌표 측정기로 조사하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

선수축률 1.44%의 제 4형 주조용 금합금 Stabilor G(Au 58%, Pd 5.5%, Ag23.3%, Degussa AG, Germany)\*를 모금속으로 사용하였으며 납과 용제는 합금제조사의 지시에 따라 선택하였다(Table 1).

### 2. 연구 방법

#### 1) 시편제작

직경 6mm, 길이 13mm의 제 2형 티타늄 합금을 선반(Model WHN-1, Hasegawa, Japan)과 밀링머신(Model HPF, Hasegawa, Japan)을 이용하여 친원도(Roundness) 3 $\mu$ m 이하의 원통형태로 가공하

였다. 원통의 윗면은 장축에 수직이 되도록 하였으며 측면 중앙부에는 높이 3mm, 깊이 1mm의 홈을 부여하여 일정한 규격의 납형제작이 가능하도록 하였고 또한 홈의 하부 원통측면에는 5 $\times$ 4.5mm의 평면을 원통의 장축에 평행하게 형성하여 윗면과 함께 3차원 좌표측정의 기준 평면으로 이용하였다(Fig. 1).

60 $\times$ 50 $\times$ 20mm의 금속판에 중심 간의 거리가 40mm가 되도록 직경 3.85mm, 깊이 9mm의 서로 평행한 나사구멍을 밀링머신(Machining center, Model number ECOMIL-65V, Hwacheon, Korea)을 이용하여 형성하였다(Fig. 2). 또한 금속기저판의 나사구멍과 같은 규격의 나사를 갖는 직경 3.85mm, 길이 17mm의 positioning 포스트를 제작하고(Fig. 2), 이를 금속기저판에 포스트의 상부 8mm가 노출되도록 하부나사를 이용하여 위치시킨 후 cyanoacrylate cement (Alteco, Japan)으로 고정하였다. 금속 기저판에 고정된 두 positioning 포스트에 각각 원통을 위치시킨 후 torque controller(Nobelpharma, USA)와 guide pin을 이용하여 10Ncm로 고정하였다. 일정한 규격의 납형제작을 위하여 직경 3mm, 길이 36mm의 플라스틱 환봉(Degussa AG, Germany)을 두 원통 사이에 위치시킨 후 패턴레진(Pattern resin, GC Co., Japan)을 이용하여 brush-on 기법으로 원통들과 연결하고 주조용 왁스로써 납형을 완

Table 1. Materials used in this study

| Materials            | Commercial products  | Manufacturer        |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| Alloy                | Stabilor G           | Degussa AG, Germany |
| Solder               | Stabilor-Lot 710     | Degussa AG, Germany |
| Casting investment   | Deguvest CF          | Degussa AG, Germany |
| Soldering investment | Deguvest L           | Degussa AG, Germany |
| Flux                 | Flu $\beta$ mittel T | Degussa AG, Germany |
| Solder index         | Pattern resin        | GC Co., Japan       |

Table 2. Experimental groups

| Group | Method for connection     | Sample size |
|-------|---------------------------|-------------|
| OC    | One-piece casting         | 15          |
| IS    | Investment-soldering      | 5           |
| SS    | Soldering stand-soldering | 5           |
| CJ    | Cast-joining              | 5           |

\* Composition from alloy manufacturer.

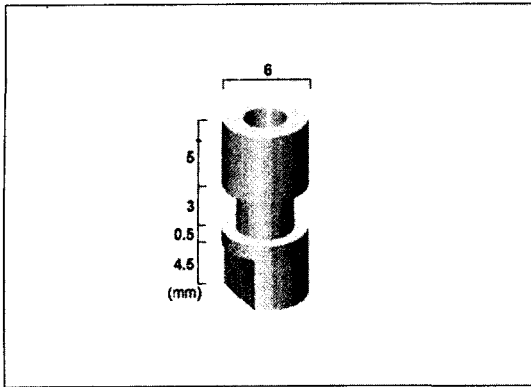


Fig. 1. Specially designed cylinder for touch-trigger type coordinate measuring machine.

성하였다. 이 후 10 게이지 원형 왁스로 원통에서 4mm 떨어진 플라스틱 환봉에 주입선을 설치하고 24시간 실온에서 방치하였다(Fig. 3).

두 원통의 연결방법에 따라 일체주조군, 매물재블록 납착군, 스탠드 납착군, 주조연결군의 네가지 실험군으로 나누고, 일체주조군으로 15개의 시편을 제작한 후 이를 분할하여 매물재블록 납착군 5개, 스탠드 납착군 5개, 주조연결군 5개씩으로 구성하여 시편을 준비하였다(Table 2).

#### (1) 일체주조 시편제작

완성된 납형을 인산염계 매물재인 Deguvest CF(Degussa AG, Germany)를 22ml/100g의 혼수비로 혼합하여 직경 65mm의 원형 실리콘 주조링에 매몰하였다. 매물재 제조사의 지시에 따라 경화, 소환 후 제 4형 금합금(Stabilor G, Degussa AG, Germany)을 이용하여 고주파 유도 주조기(Globucast, Krupp Medizintechnik GmbH, Germany)로 주조하고 실온까지 서냉시켰다(Table 3). 주조된 시편을 매물재로부터 제거한 후 초음파 세척기에서 석고제거 용액(Biosonic stone and plaster remover, Whaledent, Ny)으로 세척하였다.

#### (2) 매물재블록 납착 시편제작

일체주조법으로 제작된 시편 중 5개를 납착간격이 0.3mm가 되도록 wire cutting machine(Model number 900×500×250, Daewoo, Korea)을 이용하여 시편의 중앙부위를 시편 장축에 수직으로 분할하였다. 각각의 분할된 시편을 금속 기저판에 고정

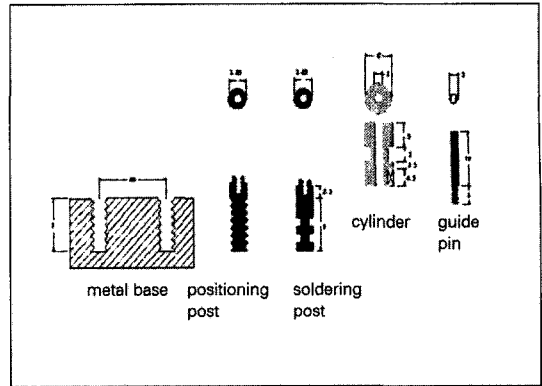


Fig. 2. Fabricated components for this study.

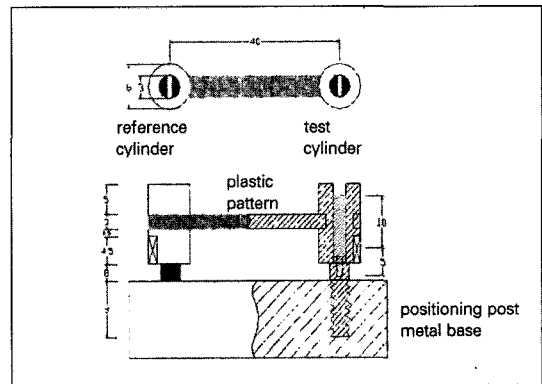


Fig. 3. Schematic representation of assembled framework pattern of specimen on the positioning post on the metal base with hatched area representing section at center of specimen.

된 positioning 포스트에 재위치 시키고 torque controller와 guide pin을 이용하여 10Ncm로 고정된 후 패턴레진을 0.8ml/1g 비로 혼합하여 연결, 고정하고 실온에서 24시간 방치하였다. 매물재블록의 크기를 표준화하기 위하여 Fig. 4와 같이 타원형 레진블록을 제작하고 이것을 고무인상재(Dublisil-SP, Dentamid, Germany)로 복제하여 매물재블록용 몰드를 제작하였다. 또한 시편을 매물재블록 내에서 일정한 깊이로 유지하고 원통측면에 형성된 평면의 측정을 용이하게 하고자 직경 3.85mm, 길이 11.5mm의 납착용 포스트를 제작하였다(Fig. 2). 패턴레진으로 납착인기된 시편을 positioning 포스트에서 제거한 후 guide pin을 이용하여 납착용 포스트와 연결하고 납착용 매물재(Deguvest L, Degussa AG, Germany)

를 22ml/100g의 혼수비로 증류수와 혼합하여 몰드 내로 부은 다음 납착용 포스트의 상부 2.5mm가 노출되도록 시편을 매몰시킨 후 1시간 동안 경화시켰다(Fig. 4). 경화된 매몰재 블록을 매몰재 제조사의 지시대로 건조, 예열 시킨 후 용제(Flu mittel T, Degussa AG, Germany)를 묻힌 금납(Stabilor-Lot 710, Degussa AG, Germany)을 이용하여 납제조사의 지시에 따라 도재로 납착법을 시행하였다(표 III). 납착 후 실온에서 서냉시키고 일체구조법과 동일하게 매몰재 제거와 세척과정을 시행하였다.

### (3) 스탠드 납착 시편제작

납착용 스탠드 제작을 위하여 길이 45mm의 10 개지 원형 왁스에, 높이 12mm의 14 개지 원형 왁스를 40mm 간격으로 수직으로 연결시킨 후, 일체구조법과 같은 방법으로 매몰, 소환하고 동일한 금속(Stabilor G, Degussa AG, Germany)으로 구조하였다. 일체구조법으로 제작된 5개의 시편을 매몰재 블록 납착법과 동일한 방법으로 분할, 고정, 연결하였다. 이후 positioning post에서 제거한 시편을 원통의 내부에 소량의 납착용매몰재(Deguvest L, Degussa AG, Germany)를 적용하여 납착용 스탠드에 고정된 후 매몰재블록 납착법과 동일한 방법으로 도재로 납착법을 시행하였다(Fig. 5, Table 3).

### (4) 구조연결 시편제작

일체구조법으로 제작된 시편 중 5개를 간격이 1mm가 되도록 wire cutting machine을 이용하여 장축에 수직으로 시편의 중앙부위를 절단하였다. 밀링머신(Model HPF, Hasegawa, Japan)을 이용하여 절단면에 수직으로 폭 1mm, 깊이 1mm의 십자형 유지형태를 부여한 후 납착법과 같은 방법으로 금속기저판의 positioning 포스트에 고정, 연결하였다(Fig. 6). 이후 10 개지 원형 왁스로 구조연결부위에 주입선을 연결하고 일체구조법에서와 동일한 방법으로 매몰, 소환, 구조 하였다(Table 3).

### 2) 측정

접촉식 삼차원 좌표측정기(MHB-665C, Dukin, Korea)를 이용하여 Fig. 7과 같이 각 실험군별 제작과정에 따라 총 14단계에서 측정을 실시하였다. 각 시편의 두 원통을 기준원통(reference cylinder)과 시험원통(test cylinder)으로 구분하고 기준원통에 대한 시험원통의 삼차원 공간 상에서의 상대적인 위치관계를 측정하였다. 기준좌표계 설정을 위하여 기준원통의 중심축과 윗면을 이용하여 Z축과 X-Y 평면을 결정하였으며, 기준원통의 측면에 형성된 평면과 수직인 축을 X축으로 결정하였다. 또한 설정된 기준좌표계를 기준원통의 중심축을 따라 6.5mm 하방으로

Table 3. Investing, heating, casting, and soldering protocol

| Variable \ Group      | OC   | CJ   | IS  | SS |
|-----------------------|--|------|---|----|
| Alloy / Solder        | Stabilor G   | ←    | Stabilor-Lot 710  | ←  |
| Gap distance          |  | 1 mm | 0.3mm   | ←  |
| Casting investment    | Deguvest CF  | ←    |   |    |
| Soldering investment  |  |      | Deguvest L  | ←  |
| Powder(g):liquid(ml)  | 100:22   | ←    | 100:22  | ←  |
| Ring / Mold           | Special liquid:water=(1:1)<br>65mm diameter<br>round silicon ring  | ←    | water only<br>52×12×25mm<br>oval silicon mold   | ←  |
| Setting / Drying time | 40 min. bench set  | ←    | 1 hour bench set  | ←  |
| Heating               | wax elimination at 300℃<br>50 min. heat soak<br>casting at 650℃<br>45 min. heat soak<br>temp. rise 7℃/min. | ←    | preheating at 427℃<br>set the block in front of the open<br>muffle for 10 min.<br>for another 10 min. in the muffle<br>soldering temperature 710℃ | ←  |
| Casting / Soldering   | cast with Globucast  | ←    | soldering with Mark III-Modular   | ←  |
| Cooling               | bench cooling  | ←    | ←   | ←  |

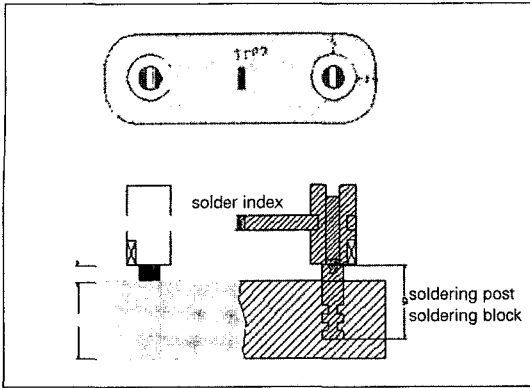


Fig. 4. Schematic representation of assembled investment soldering specimen on the soldering post in the soldering investment block with hatched area representing section at center of specimen.

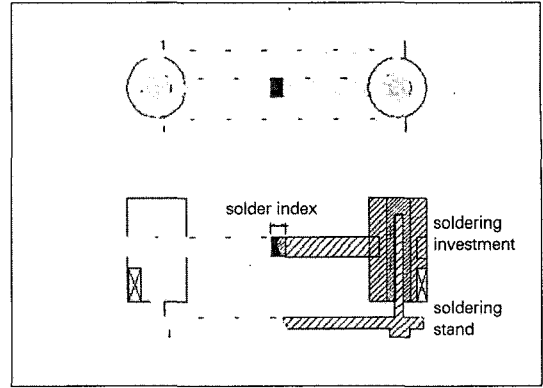


Fig. 5. Schematic representation of assembled soldering stand-soldering specimen on the soldering stand with hatched area representing section at center of specimen.

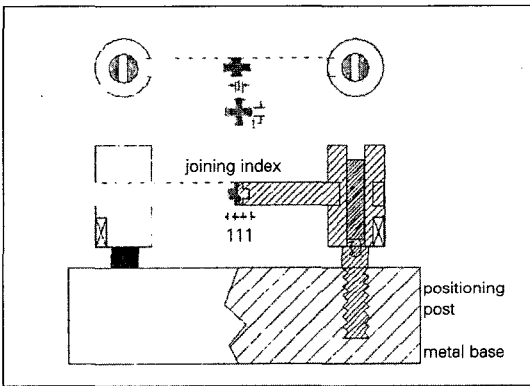


Fig. 6. Schematic representation of assembled cast-joining specimen on the positioning post on the metal base with hatched area representing section at center of specimen.

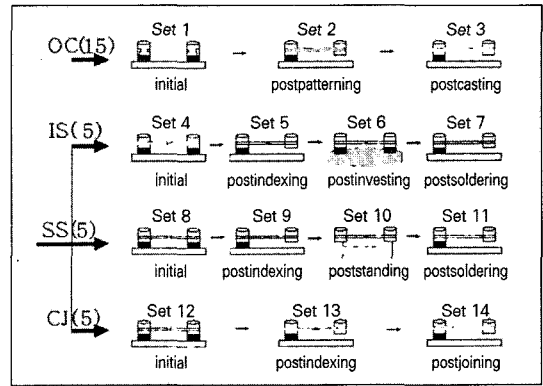


Fig. 7. Stages of measuring the centroids for four experimental groups. Numbers in parentheses are sample sizes.

이동시켜 기준원통의 중심점을 구하였으며, 동일한 방법으로 시험원통의 중심점을 구하였다(Fig. 8, 9). 각 실험군별 제작과정에 따른 구조체의 변위로서, 3차원 공간 상에서의 세가지 가능한 회전변위량(rotational displacement,  $\Delta\theta_x$ ,  $\Delta\theta_y$ ,  $\Delta\theta_z$ )과 성분변위량(component displacement,  $\Delta L_x$ ,  $\Delta L_y$ ,  $\Delta L_z$ )을 계산하였다(Fig. 10, 11). 이 때 상대좌표계의 원리를 이용한 좌표계 전환(conversion of coordinate system)을 통하여 시편 재위치 시 발생할 수 있는 공간적 오차를 배제할 수 있었다(Fig. 8, 9).

중심점 간 거리(intercentroidal distance) "ID"는 기준원통과 시험원통의 "중심점 간 거리"로 정의하

고  $ID = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 의 공식으로 계산하였으며, 중심점 간 거리 차 " $\Delta ID$ "는 "중심점 간 변위량(intercentroidal displacement)"로 정의하고  $\Delta ID = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 의 공식으로 계산하였다. 총변위량(global displacement) " $\Delta R$ "은 구조체의 "총변위량"으로 정의하고  $\Delta R = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}$ 의 공식<sup>30)</sup>으로 계산하였다(Fig. 9).

각 실험군별 초기 측정상태(measurement set 1, 4, 8, 12)와 매물재고정 후의 측정상태(measurement set 6, 10)를 제외하고는, 모두 시험원통의 변위를 자유로이 허용하기 위해, 기준원통만을 금속기저판의

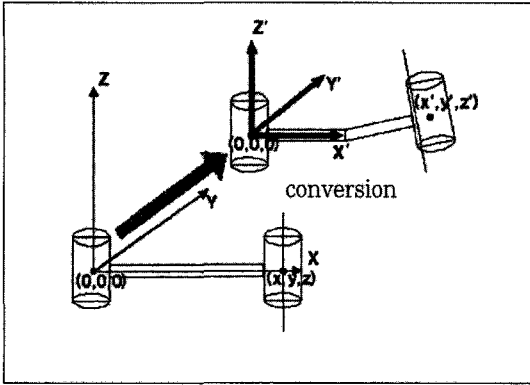


Fig. 8. Conversion of coordinate system.

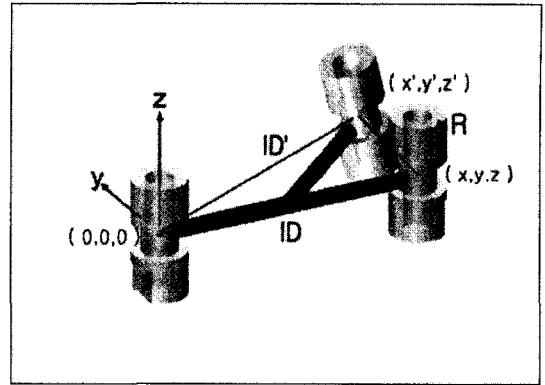


Fig. 9. Expressed intercentroidal distance(ID) and global displacement( $\Delta R$ ).

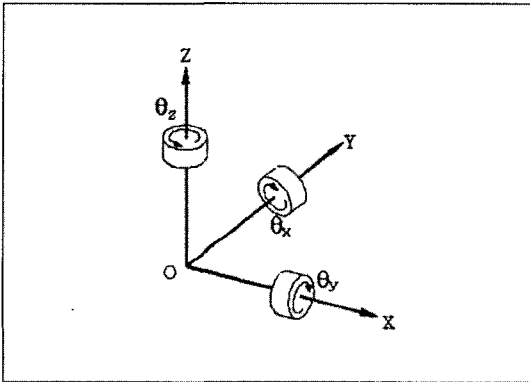


Fig. 10. Positive directions for rotational displacement.

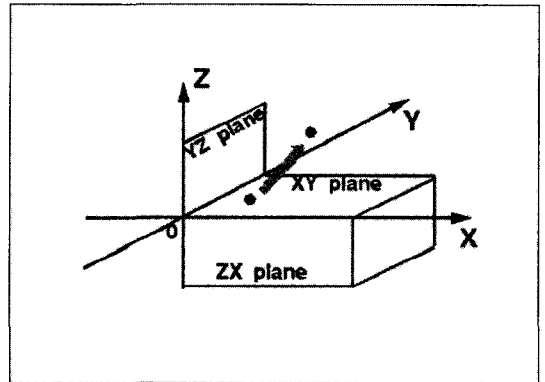


Fig. 11. Positive directions for component displacement.

positioning 포스트에 고정된 채 시험원통을 측정하였다(Fig. 7). 이 때 발생 가능한 시편의 변위를 최소화하기 위하여 0.3mm 직경의 probe와 7g의 trigger-force를 사용하였으며 positioning 포스트에서 제거한 후 측정 완료 시까지 3분 이내로 제한하였다.

### Ⅲ. 연구 성적

#### 1. 변위의 분석

각 실험군별 제작과정에 따른 구조체 변위를 표 IV로 나타내었으며 Fig. 12와 13에 각 실험군의 제작 단계별 성분 변위량을 X-Y, X-Z 평면상에 나타내었다.

#### 1) 중심점 간 변위량

납형제작, 납착인기, 스탠드 고정, 및 납착과정에서는 중심점 간 거리가 감소하였으며, 매몰재블록 고정과정과 주조과정에서는 중심점 간 거리가 증가하였다(Fig. 14). 각 실험군별 최종 중심점 간 변위량을 일원변량분석법으로 검정한 결과 유의한 차이가 있었으며, Duncan의 다중범위검정법으로 사후 개별 비교 하였다(Table 5). 최종 중심점 간 변위량은 주조군 보다 납착군에서 크게 나타났으며, 스탠드 납착군과 매몰재블록 납착군 사이, 주조연결군과 일체 주조군 사이에는 유의차가 없었다.

#### 2) 총변위량

각 실험군별 최종 총변위량을 일원변량분석법으로 검정한 결과 각 실험군 간에 유의한 차이가 있었으며, Duncan의 다중범위검정법으로 사후 개별비교

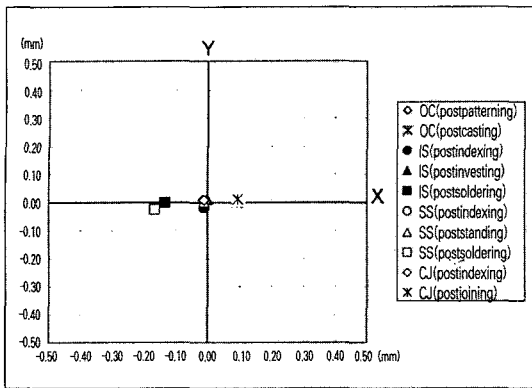


Fig. 12. Mean component displacements for four experimental groups expressed at X-Y plane.

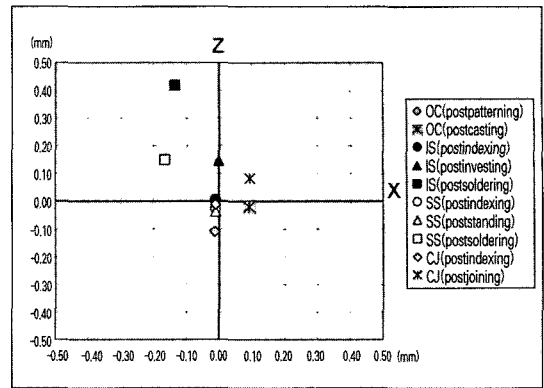


Fig. 13. Mean component displacements for four experimental groups expressed at X-Z plane.

Table 4. Mean values of rotational, component, intercentroidal, and global displacements

| Group | Measurement set | Rotational displacement(°) |                  |                  | Component displacement(mm) |              |              | $\Delta ID^\dagger$ (mm) | $\Delta R^\ddagger$ (mm) |
|-------|-----------------|----------------------------|------------------|------------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
|       |                 | $\Delta\theta_x$           | $\Delta\theta_y$ | $\Delta\theta_z$ | $\Delta L_x$               | $\Delta L_y$ | $\Delta L_z$ |                          |                          |
| OC    | 1→2             | 0.106                      | -0.146           | -0.195           | -0.014                     | 0.008        | -0.108       | -0.013                   | 0.115                    |
|       | Postpatterning  | (0.143)*                   | (0.303)          | (0.549)          | (0.011)                    | (0.028)      | (0.059)      | (0.010)                  | (0.055)                  |
|       | 2→3             | 0.007                      | 0.156            | 0.113            | 0.106                      | -0.008       | 0.086        | 0.106                    | 0.169                    |
|       | Postcasting     | (0.233)                    | (0.358)          | (0.627)          | (0.021)                    | (0.032)      | (0.106)      | (0.021)                  | (0.046)                  |
|       | 1→3             | 0.113                      | 0.010            | -0.082           | 0.092                      | 0.000        | -0.022       | 0.093                    | 0.137                    |
| Final | (0.172)         | (0.219)                    | (0.856)          | (0.023)          | (0.020)                    | (0.107)      | (0.023)      | (0.045)                  |                          |
| IS    | 4→5             | 0.063                      | 0.158            | 0.002            | -0.011                     | -0.018       | 0.007        | -0.011                   | 0.040                    |
|       | Postindexing    | (0.180)                    | (0.294)          | (0.271)          | (0.016)                    | (0.025)      | (0.032)      | (0.016)                  | (0.023)                  |
|       | 5→6             | -0.365                     | -0.295           | 0.058            | 0.012                      | 0.028        | 0.138        | 0.012                    | 0.146                    |
|       | Postinvesting   | (0.163)                    | (0.365)          | (0.158)          | (0.010)                    | (0.028)      | (0.085)      | (0.010)                  | (0.079)                  |
|       | 6→7             | -0.810                     | 0.141            | 0.222            | -0.135                     | -0.012       | 0.274        | -0.134                   | 0.312                    |
|       | Postsoldering   | (0.221)                    | (0.333)          | (0.221)          | (0.050)                    | (0.033)      | (0.110)      | (0.050)                  | (0.102)                  |
|       | 4→7             | -1.112                     | 0.004            | 0.281            | -0.134                     | -0.003       | 0.418        | -0.133                   | 0.444                    |
| Final | (0.188)         | (0.354)                    | (0.192)          | (0.057)          | (0.031)                    | (0.076)      | (0.056)      | (0.067)                  |                          |
| SS    | 8→9             | 0.045                      | -0.036           | -0.063           | -0.009                     | 0.004        | -0.028       | -0.009                   | 0.051                    |
|       | Postindexing    | (0.132)                    | (0.170)          | (0.126)          | (0.006)                    | (0.018)      | (0.065)      | (0.006)                  | (0.050)                  |
|       | 9→10            | 0.000                      | 0.022            | -0.135           | -0.002                     | -0.002       | -0.009       | -0.002                   | 0.068                    |
|       | Poststanding    | (0.137)                    | (0.268)          | (0.295)          | (0.010)                    | (0.032)      | (0.081)      | (0.010)                  | (0.046)                  |
|       | 10→11           | -0.689                     | 0.240            | -0.101           | -0.155                     | -0.028       | 0.187        | -0.154                   | 0.291                    |
|       | Postsoldering   | (0.384)                    | (0.572)          | (0.670)          | (0.033)                    | (0.054)      | (0.184)      | (0.034)                  | (0.083)                  |
|       | 8→11            | -0.644                     | 0.226            | -0.299           | -0.166                     | -0.027       | 0.150        | -0.165                   | 0.257                    |
| Final | (0.370)         | (0.542)                    | (0.674)          | (0.039)          | (0.053)                    | (0.147)      | (0.040)      | (0.082)                  |                          |
| CJ    | 12→13           | 0.004                      | -0.028           | 0.000            | -0.011                     | 0.006        | -0.012       | -0.011                   | 0.046                    |
|       | Postindexing    | (0.107)                    | (0.187)          | (0.112)          | (0.005)                    | (0.022)      | (0.047)      | (0.005)                  | (0.021)                  |
|       | 13→14           | -0.225                     | -0.049           | 0.059            | 0.106                      | 0.005        | 0.092        | 0.106                    | 0.112                    |
|       | Postjoining     | (0.416)                    | (0.198)          | (0.234)          | (0.077)                    | (0.017)      | (0.167)      | (0.076)                  | (0.067)                  |
|       | 12→14           | -0.221                     | -0.077           | 0.059            | 0.095                      | 0.011        | 0.080        | 0.095                    | 0.180                    |
| Final | (0.403)         | (0.148)                    | (0.300)          | (0.078)          | (0.012)                    | (0.141)      | (0.078)      | (0.072)                  |                          |

\*Standard deviation in parenthesis.

†Intercentroidal displacement.

‡Global displacement.

하였다(Table 6, Fig. 15). 매몰재블록 납착군에서 변위가 가장 많이 발생하였고, 스탠드 납착군, 주조연결군과 일체주조군의 순이었으며 일체주조군과 주조연결군 사이에는 유의차가 없었다.

각 실험군의 제작과정별 총변위량을 일원변량분석법으로 유의성을 검정하고, Duncan의 다중범위검정법으로 사후 개별비교 하였다(Table 7, Fig. 15).

일체주조군에서는 납형 제작과정보다 주조과정에서 변위가 많이 발생하였고, 주조연결군에서는 제작과정 간에 유의성 있는 변위는 발생하지 않았다. 매

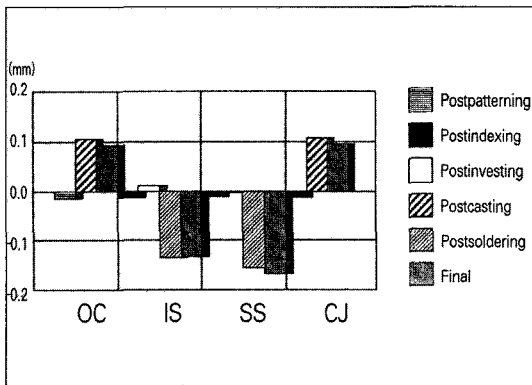


Fig. 14. Mean intercentroidal displacements for four experimental groups.

몰재블록 납착군에서는 모든 제작단계에서 유의성 있는 변위가 발생하였으며 스탠드 납착군에서는 스탠드 고정 시까지의 과정에서는 유의성 있는 변위가 발생하지 않았으나, 이후의 납착과정에서 변위가 발생하는 것으로 관찰되었다.

또한 각 실험군의 제작과정 중 상호 유사한 과정이거나 비교가 필요하다고 생각되는 과정들을 t-test를 이용하여 검정하고 이를 Table 8에 나타내었다.

일체주조군과 주조연결군 간의 비교에서 주조과정에서의 총변위량은 일체주조군에서 크게 나타났으며, 납착군(IS와 SS)과 주조연결군에서 납착인기 재료의 양 차이에 따른 총변위량은 유의차가 없었다. 납착군에서 납착인기 후 매몰재블록을 이용한 고정방법과 스탠드를 이용한 고정방법을 비교한 결과, 유의수준 10%에서 스탠드를 이용한 고정방법이 총변위량이 적은 것으로 나타났다.

### 3) 회전변위량

매몰재블록 납착군의 매몰재블록 고정과정( $-0.365^\circ \pm 0.163^\circ$ )과 납착과정( $-0.810^\circ \pm 0.221^\circ$ ), 스탠드 납착군의 납착과정( $-0.689^\circ \pm 0.384^\circ$ )에서  $\Delta\theta_x$ 의 회전변위가 납착연결부를 향해 크게 발생하였다(Table 4).

Table 5. Means and standard deviations of final intercentroidal displacement and intercentroidal strain values for four experimental groups

| Group | Measurement set | Intercentroidal displacement(mm) | Intercentroidal strain(%)* | F     | p      |
|-------|-----------------|----------------------------------|----------------------------|-------|--------|
| OC    | 1→3             | $0.093 \pm 0.023$                | $0.231 \pm 0.057$          | 67.61 | 0.0001 |
| CJ    | 12→14           | $0.095 \pm 0.078$                | $0.238 \pm 0.194$          |       |        |
| IS    | 4→7             | $-0.133 \pm 0.056$               | $-0.411 \pm 0.097$         |       |        |
| SS    | 8→11            | $-0.165 \pm 0.040$               | $-0.332 \pm 0.140$         |       |        |

Groups connected by vertical line are not significantly different at  $p=0.05$  level.

\* Intercentroidal displacement ( $\Delta ID$ )/intercentroidal distance(ID)  $\times 100$ .

Table 6. Means of final global displacement values for four experimental groups

| Group | Measurement set | Mean $\pm$ SD(mm) | F     | p      |
|-------|-----------------|-------------------|-------|--------|
| OC    | 1→3             | $0.137 \pm 0.045$ | 34.29 | 0.0001 |
| CJ    | 12→14           | $0.180 \pm 0.072$ |       |        |
| SS    | 8→11            | $0.257 \pm 0.082$ |       |        |
| IS    | 4→7             | $0.444 \pm 0.067$ |       |        |

Groups connected by vertical line are not significantly different at  $p=0.05$  level.



#### 4) 성분변위량

각 축 방향의 성분변위량은 Y축으로의 변위량보다 Z축과 X축으로의 변위량이 많게 나타났다. 회전변위의 양상과 유사하게 매몰재블록 납착군의 매몰재블

록 고정과정과 납착과정, 스탠드 납착군의 납착과정에서 Z축 양의 방향으로의 변위와 X축 음의 방향으로의 변위가 크게 나타났다. 주조과정에서는 X축 양의 방향으로 변위가 크게 나타났다(Fig. 12, 13).

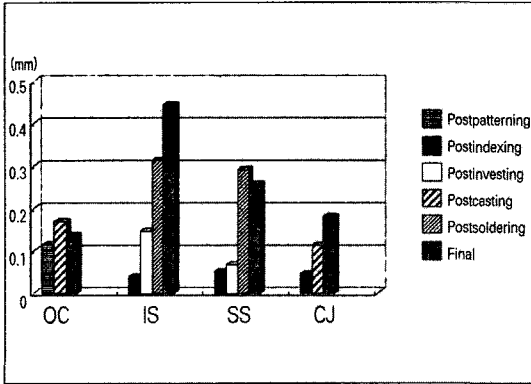


Fig. 15. Mean global displacements for four experimental groups.

## 2. 측정 오차에 대한 검증

### 1) 진원도(Roundness) 측정

매몰, 소환, 주조 및 납착과정 중 발생 가능한 원통의 변형 여부를 알아보기 위하여 진원도 측정기(Roundtest RA-400, Mitutoyo)로 20개의 원통에 대하여 시편의 초기상태와 주조과정 후 그리고 납착과정 후의 진원도를 LSC(least square center) 방식으로 측정, 조사하였다(Table 9). 쌍체검정으로 유의성을 검사하고 Table 10에 나타내었다. Roundness는 주조과정 후 평균 1.3 $\mu$ m 증가하는 것으로 나타났다.

Table 7. Mean global displacement values for four experimental groups

| Group | Measurement set     | Mean $\pm$ SD(mm) | F     | p      |
|-------|---------------------|-------------------|-------|--------|
| OC    | 1 $\rightarrow$ 2   | 0.115 $\pm$ 0.055 | 4.71  | 0.0142 |
|       | 2 $\rightarrow$ 3   | 0.169 $\pm$ 0.046 |       |        |
|       | 1 $\rightarrow$ 3   | 0.137 $\pm$ 0.045 |       |        |
| IS    | 4 $\rightarrow$ 5   | 0.040 $\pm$ 0.023 | 22.99 | 0.0001 |
|       | 5 $\rightarrow$ 6   | 0.146 $\pm$ 0.079 |       |        |
|       | 6 $\rightarrow$ 7   | 0.312 $\pm$ 0.102 |       |        |
|       | 4 $\rightarrow$ 7   | 0.444 $\pm$ 0.067 |       |        |
| SS    | 8 $\rightarrow$ 9   | 0.051 $\pm$ 0.050 | 17.38 | 0.0001 |
|       | 9 $\rightarrow$ 10  | 0.068 $\pm$ 0.046 |       |        |
|       | 10 $\rightarrow$ 11 | 0.291 $\pm$ 0.083 |       |        |
|       | 8 $\rightarrow$ 11  | 0.257 $\pm$ 0.082 |       |        |
| CJ    | 12 $\rightarrow$ 13 | 0.046 $\pm$ 0.021 | 6.61  | 0.0116 |
|       | 13 $\rightarrow$ 14 | 0.112 $\pm$ 0.067 |       |        |
|       | 12 $\rightarrow$ 14 | 0.180 $\pm$ 0.072 |       |        |

Groups connected by vertical line are not significantly different at p=0.05 level.

Table 8. t-test results comparing mean global displacement values between two interesting fabricating steps

| Measurement set     | Mean $\pm$ SD(mm) | T       | p      |
|---------------------|-------------------|---------|--------|
| 2 $\rightarrow$ 3   | 0.169 $\pm$ 0.046 | 2.1628  | 0.0443 |
| 13 $\rightarrow$ 14 | 0.112 $\pm$ 0.067 |         |        |
| 4 $\rightarrow$ 5   | 0.040 $\pm$ 0.023 | -0.4095 | 0.6929 |
| 12 $\rightarrow$ 13 | 0.046 $\pm$ 0.021 |         |        |
| 5 $\rightarrow$ 6   | 0.146 $\pm$ 0.079 | 1.9159  | 0.0917 |
| 9 $\rightarrow$ 10  | 0.068 $\pm$ 0.046 |         |        |

Table 9. Results of roundness test.

| Sample size | Roundness( $\mu\text{m}$ ) |               |               |
|-------------|----------------------------|---------------|---------------|
|             | Initial                    | Postcasting   | Postsoldering |
| 20          | 2.1 $\pm$ 0.7              | 3.4 $\pm$ 0.9 | 2.5 $\pm$ 1.3 |

Table 10. Paired comparison test.

|                          | T      | p      |
|--------------------------|--------|--------|
| initial vs postcasting   | 7.0987 | 0.0001 |
| initial vs postsoldering | 1.7364 | 0.0987 |

Table 11. Standard deviations of rotational, component, and intercentroidal displacement values according to measuring states of test cylinder.

| Measuring state | Rotational displacement( $^{\circ}$ ) |              |              | Component displacement(mm) |       |       | ID <sup>†</sup> | Sample size |
|-----------------|---------------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|-------|-------|-----------------|-------------|
|                 | d $\theta_x$                          | d $\theta_y$ | d $\theta_z$ | dLx                        | dLy   | dLz   |                 |             |
| A*              | 0.067                                 | 0.168        | 0.073        | 0.002                      | 0.011 | 0.021 | 0.003           | 5           |
| B <sup>†</sup>  | 0.079                                 | 0.046        | 0.057        | 0.005                      | 0.006 | 0.038 | 0.005           | 5           |
| C*              | 0.060                                 | 0.115        | 0.090        | 0.004                      | 0.015 | 0.024 | 0.003           | 5           |

<sup>‡</sup> Intercentroidal displacement.

\* Measured at initial or invested state with support-set 1, 4, 6, 8, 9, 1 2.

<sup>†</sup> Measured at indexing state without support-set 5, 9, 13.

\* Measured at postcasting or postsoldering state without support-set 3, 7, 11, 14.

Table 12. Statistical results comparing standard deviations of intercentroidal displacement values according to measuring states

| Measuring states | F    | p      |
|------------------|------|--------|
| A vs B           | 3.30 | 0.2737 |
| A vs C           | 1.50 | 0.7028 |
| B vs C           | 2.20 | 0.4641 |

2) 측정 상태에 따른 오차

본 실험에서는 각 실험군별 초기 측정 상태(measurement set 1, 4, 8, 12)와 매물재고정 후의 측정 상태(measurement set 6, 10)를 제외하고는, 모두 기준원통만을 금속기저판의 positioning 포스트에 10Ncm로 고정된 채 시험원통을 측정하였던 바, 이러한 과정에서 발생 가능한 측정 상태에 따른 측정 오차를 조사하고자 시험원통 측정상태의 구분으로 A: positioning 포스트에 고정된 상태(measurement set 1, 4, 8, 12)와 매물재 고정 후의 지지 상태(measurement set 6, 9), B: 납착인기 후 지지없이 측정된 상태(measurement set 5, 9, 13), C: 주조 혹은 납착과정 후 지지 없이 측정된 상태(measurement set 3, 7, 11, 14)의 세가지로 구분하고 각 상

태별로 동일 시편을 5회씩 반복 측정하였다(Table 11). 중심점 간 거리에 대한 표준편차를 분산비 검정으로 통계학적 유의성을 검정하고 Table 12에 나타내었다. 각 측정 상태별 비교에서 측정 상태에 따른 중심점 간 거리에 대한 오차는 없는 것으로 나타났다.

IV. 총괄 및 고안

1. 시편제작 및 연구방법에 관한 고안

고정성 국소의치의 연결부위는 기능 시의 변형 또는 파절을 방지하기 위해서 충분한 크기를 가져야만 하나, 치태조절의 용이성이나 심미성의 이유로 크기

가 제한된다. 일반적으로 구치부에서는 교합력에 효과적으로 저항하기 위해 협설폭 3mm, 수직고경 2mm의 연결부 면적이 요구되며 전치부에서는 보다 좁은 형태도 가능하다<sup>11)</sup>. 본 연구에 사용된 3mm 직경의 연결봉은 이러한 기준에서 선택되었으며 시편의 길이는 Wheeler<sup>31)</sup>의 조사를 근거로 견치에서 제 2 대구치까지의 근원심 폭경의 합으로 결정하였다. 그러나 본 연구에 사용된 시편의 형태는 삼차원 좌표측정기의 매우 민감한 측정 특성을 고려하여 시편 규격을 엄밀히 표준화하기 위한 형태로서, 가공치를 포함하는 일반적인 고정성 국소치 형태의 시편을 이용한 다른 연구와는 변위양상에 다소 차이가 있을 것으로 생각된다.

통상적인 주조보철물의 제작과정에서는 납형 형성 후 변형을 최소화하기 위하여 납형을 즉시 매몰할 것을 추천하고 있으나<sup>9-11)</sup>, 근자에 발달되고 있는 임플란트 보철물의 경우에는 납형제작 후 충분한 응력의 완화를 위해 장시간 작업모형 상에서 유지할 것을 추천하고 있다<sup>32)</sup>. 이는 임플란트 보철물의 경우, 대부분 납형의 부피가 크고 가공과정이 복잡하여 납형의 변형이 쉽게 발생할 수 있으나, 주모형 상에서 비교적 안정되게 납형을 장시간 유지할 수 있다는 특성 때문으로 생각된다. 본 연구에서도 시편 제작 시 일정한 규격의 납형제작을 위하여 원통의 측면에 형성된 홈을 이용하여 가급적 동일한 양의 패턴레진과 기성의 플라스틱 환봉을 사용하였고, 납형제작 후 금속기저판에 10Ncm로 고정된 채 실온에서 24시간 방치하여 패턴레진의 중합 수축으로 인한 시편의 변형을 최소화하고자 하였다.

Sass와 Eames<sup>33)</sup>는 매몰링의 크기와 형태가 일체주조 3분 계속가공의치의 적합도에 미치는 영향에 관한 연구에서 매몰링의 형태는 주조체의 적합도에 영향을 미치지 않으나, 크기가 중요한 요소라고 보고하고 직경 60mm이상의 큰 링을 추천하였으며, Jones와 Wilson<sup>34)</sup>, Mumford와 Phillips<sup>35)</sup>는 금속 주조링의 restrictive stress로 인한 매몰재의 열팽창 억제효과가 인산염계 매몰재에서 석고계 매몰재보다 작아서 납형의 변형에 미치는 영향이 적다고 보고하였던 바 본 실험에서는 직경 65mm의 원형 실리콘 주조링과 인산염계 매몰재를 사용하였다.

주조 시에는 플라스틱 runner bar의 사용<sup>36)</sup>과 주조체보다 큰 체적을 갖는 과잉의 주조금속에 의한 수

축변형<sup>32)</sup>을 고려하여 왁스 주입선을 V 형태로 매몰링의 중앙에서 직접 만나도록 하였으며, 주조 후 잉여 금속에 의해 주입선이 서로 연결되지 않도록 미리 계측된 양의 금속을 주조하여 잉여 주조금속의 수축으로 인한 시편의 변형을 최소화하였다.

또한 crucible former에 형성한 왁스 표식을 기준으로 몰드를 항상 일정한 위치에 오도록 하여 원심주조 방식에 의한 "trailing edge effect"<sup>37)</sup>를 일정한 조건으로 부여하였으며 주조된 시편은 실온에서 서냉시켜 급냉 시 발생하는 열응력에 의한 변형을 최소화하였다.

한편 납착보철물의 변위는 납착간격, 납착인기 재료, 분할체의 고정방법, 납착방법, 및 냉각방법 등 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받는다. 납착간격에 대한 선학들의 연구<sup>38,39)</sup>는 납착간격이 증가할수록 기포발생율이 적어 강도가 증가하나 변위가 크게 발생하고, 모세관 현상을 얻기가 어려워 납착이 힘든 반면, 납착간격이 너무 좁으면 납의 적절한 흐름이 방해되어 불완전하거나 약한 결합부위를 이루고, 모금속의 접촉으로 인한 변위가 야기될 수 있다고 보고하였다. 따라서 본 실험에서는 Stade 등<sup>38)</sup>의 추천을 따라 납착강도에 영향을 미치지 않는 최소한의 간격인 0.3mm의 납착간격을 선택하였으며, 전기톱을 사용함으로써 일정한 납착간격이 형성되도록 하였다.

일반적으로 납착연결부위의 제작은 납형을 완전히 형성한 후, 납형 변연의 제조각 전에 납착연결될 부분을 얇은 리본 톱으로 분리하여 이루어진다. 그러나 일체주조법과 납착법의 적합도에 관한 비교연구에서는 두 실험군의 시편 제작을 위해 각기 다른 납형을 제작할 경우 납형제작 후의 매몰, 소환, 주조과정에서의 변형 양상이 두 실험군 간에 다를 수 있으므로 정확한 비교가 불가능하게 된다<sup>22)</sup>. 따라서 본 실험에서는 일체주조법으로 제작된 동일한 주조체 시편을 분할하여 납착용 시편을 준비하였다.

납착인기 재료로는 임상에서 널리 사용하고 있는 자가중합형 아크릴릭 레진인 패턴레진을 이용하였다. 제조사는 납착인기 시 brush-on 기법을 추천하고 있으나 본 실험에서는 각 실험군별 조건을 일정하게 하기 위하여 0.8ml/1g의 분액비를 사용하였으며 이러한 기준은 0.3mm의 납착간격 내로 충분히 흘러 들어 갈 수 있는 점주도로 결정하였다.

인기 고정된 분할체의 고정방법으로 본 실험에서는 납착용 매물재블록을 이용한 방법과 납착용 스탠드를 이용한 방법을 사용하였다. 매물재블록의 크기는 Shillingburg 등<sup>9)</sup>의 추천을 따라 원통의 변연부에서 매물재블록의 변연부까지 균일한 3mm의 간격을 갖는 타원형의 형태로 하였으며 두께는 1 inch 크기로 제작하였다. 이러한 기준은 주조체를 충분히 지지하고 쉽게 파손되지 않는 범위 내에서 매물재블록 전체를 균등히 가열시킬 수 있는 최소한의 크기로 추천된다. 그러나 Dykema 등<sup>11)</sup>은 주조체의 변연에서 매물재블록의 변연까지 6mm의 간격과 12mm 두께의 매물재블록 크기를 추천하고 있고 납착에 관한 다른 연구들에서도 이에 관한 정확한 기준이 설정되어 있지 않아 주조체 형태에 따른 매물재블록의 형태와 크기에 관한 연구가 보완되어야 할 것으로 생각된다.

한편 小柳律純男<sup>18)</sup>은 납착용 매물재블록을 이용한 고정방법은 매물재의 종류, 블록의 형태와 크기, 가열방법 등에 따라 복잡한 수축, 팽창 현상이 일어나고 이러한 것을 정확히 조절하는 것이 어렵기 때문에 피납착체의 열거동과 고정체의 열거동을 일치시키고자 피납착체와 동일한 금속으로 제작한 납착용 스탠드를 사용할 것을 추천하고 있다. 그러나 이러한 방법은 사용하는 피납착체의 금속의 종류나 크기, 형태 등에 따라 각기 다른 개별적인 납착용 스탠드를 제작해야 하는 번거로움이 따른다. 한편 임상에서 시판되고 있는 기성의 납착용 스탠드는 특정 금속으로 제작된 스탠드를 사용하고 있으므로 이에 대한 임상적 유용성에 관하여 검증이 필요할 것으로 생각된다.

Monday와 Asgar<sup>40)</sup>가 지적하였듯이 화염납착법을 이용할 경우 불꽃을 조절하기가 어렵고, 부적절하고 불규칙한 가열에 의한 납의 흐름성의 저하, 과열의 빈발 등 술자에 의한 영향으로 균일한 납착 결과를 얻기가 어렵다. 따라서 본 실험에서는 이러한 영향을 배제하고자 비교적 균일한 조건에서 행해지는 도재로 납착법을 선택하였으며 냉각방법은 납착 후 실온에서 서냉시켜 각 실험군별 조건을 일정하게 하고 급냉 시 발생하는 열응력에 의한 주조체 변위를 배제하고자 하였다.

한편 Perdigon과 Van Eepoel<sup>12)</sup>, Engel<sup>13)</sup>은 납착과정 동안 발생하는 주조체 변위를 해결하기 위한 방

안으로 sprue와 button, 혹은 dovetail joint를 이용한 주조연결법을 소개하였고 Weiss와 Munyon<sup>14)</sup>은 비귀금속 합금의 납착을 위한 대안으로 연결될 두 주조체의 인접면에 기계적인 유지부를 형성한 후 동일한 금속으로 다시 주조하는 방법을 제안하였다.

이러한 주조연결법은 고정성 국소의치에서 분할된 주조체 간의 연결<sup>14,15)</sup>은 물론 불완전한 주조체의 수리<sup>14)</sup>나 가철성 국소의치와 도재합금 가공치와의 연결<sup>16)</sup> 등에 이용될 수 있으며 납착부위가 많고 납착부위들이 서로 근접하여 납착이 어려운 임플란트 보철물의 주조체 연결<sup>17)</sup>까지 점차 그 응용범위가 확대되어 가고 있다. 또한 주조연결법은 특수한 장비없이 비교적 쉽고 간단하게 일정한 연결효과를 얻을 수 있으며<sup>15)</sup> 특히 연결부위가 다수일 경우 시간절약 효과가 크다는 장점<sup>17)</sup>을 갖고 있기 때문에 그 활용성이 매우 높을 것으로 생각되나 주조연결법으로 연결된 고정성 국소의치의 변위에 관한 연구보고는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서 사용된 주조연결부의 형태는 Fehling 등<sup>15)</sup>의 연구를 참고로 하여 직경 3mm의 인접 절단면 상에 폭 1mm, 깊이 1mm의 십자형 유지형태를 부여한 후 간격 1mm 상태로 주조연결 하였다.

## 2. 변위의 분석에 관한 고안

납형제작 과정과 납착인기 과정에서의 중심점 간 거리 감소는 패턴레진의 중합수축으로 인한 영향으로 생각되며 24시간 고정 이후에도 미미하나 잔류응력이 존재하는 것으로 나타났다. Mojon 등<sup>41)</sup>의 실험에서도 아크릴릭 레진 인기재료의 중합수축은 실온상태에서 17분 이내에 80%가 일어났으나 24시간 이후까지 지속적으로 나타났음을 보고하고 있다. 따라서 이러한 레진계 납착인기 재료를 사용할 때는 충분한 응력의 완화를 위한 배려가 필요할 것으로 생각된다. 그러나 이러한 방법은 본 실험조건과 유사한 임플란트 보철물의 제작과정처럼 주모형 상에서 주조체를 안정되게 고정, 유지하는 것이 가능할 경우에 한하는 것이며, Moon 등<sup>42)</sup>은 일반적인 주조전장관과 Duralay 아크릴릭 레진을 이용한 실험결과에서 레진 인기재료의 지속적인 중합수축으로 인하여 1시간 후보다 24시간 후에서 더 큰 주조체 변위가 일어났음을 보고하고 납착인기 후 즉시 매물할

것을 추천하였다.

납착군(0.3mm 간격)과 주조연결군(1mm 간격)에서 레진 인기재료의 양 차이에 따른 중심점 간 변위량과 총변위량에는 유의차가 없는 것으로 나타났는데 이는 본 실험에 사용된 레진 인기재료의 양이 비교적 적었기 때문으로 생각된다. 그러나 Moon 등<sup>42)</sup>은 6mm 두께의 레진 인기재료를 사용한 경우가 3mm 두께의 경우보다 주조체 변위가 더 많았음을 보고하였고 Mojon 등<sup>41)</sup>은 이러한 레진 인기재료의 체적에 따른 주조체 변위를 최소화하고자 충분한 중합수축 이후에 relining 할 것을 추천하였다. 따라서 임상에서 레진 인기재료를 사용할 경우에는 충분한 강도를 갖는 범위 내에서 가급적 인기재료의 양을 줄이고 분액비를 증가시켜 중합수축을 최소화하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

주조과정에서 중심점 간 거리는 증가하였고 결과적으로 납형보다 약간 큰 주조체가 제작되었는데 이는 본 실험에서 사용된 주조금속의 선수축률 1.44%와 주조용 매몰재의 총팽창률 1.6% 간의 부조화에 의한 것으로 생각되며 이러한 차이는 주조군의 최종 중심점 간 선변형률(intercentroidal strain)과도 유사한 크기를 보였다. 주조용 매몰재를 선택할 때는 주조금속의 선수축률을 고려하여 이를 정확히 보상할 수 있는 팽창률을 갖도록 하는 것이 이상적이나 시판되고 있는 기성의 매몰재를 사용할 경우에는 현실적으로 불가능한 경우가 많다. 따라서 임상에서 적절한 합착재 공간을 위하여 작은 주조체 보다는 약간 큰 주조체가 유리하다는 관점에서 주조용 매몰재의 팽창률은 주조금속의 선수축률과 동일하거나 약간 큰 팽창률을 갖도록 선택하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

최종 중심점 간 변위량과 최종 총변위량은 네가지 실험군 중 납착군 보다 일체주조군과 주조연결군에서 적게 나타났으며 두 군 사이에는 유의차가 없었다. 또한 일체주조군과 주조연결군의 주조과정에서의 변위는 주조연결군에서 작게 나타났으며 이는 상대적으로 적은 금속의 양을 사용한 결과라고 생각된다. 따라서 주조연결법을 이용한 고정성 국소의치는 주조체 변위의 관점에서 임상적 효용성이 충분할 것으로 생각된다.

한편, 납착군에서 납착인기 후 주조체 고정과정에 매몰재블록을 이용한 고정방법과 납착용 스탠드를

이용한 고정방법을 비교한 결과, 매몰재블록을 이용한 경우에서는 중심점 간 거리가 증가하였으나 납착용 스탠드를 이용한 고정과정에서는 중심점 간 거리가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 측정 오차의 검증과정에서 나타난 중심점 간 거리에 대한 약 3.5  $\mu\text{m}$ 의 표준편차를 고려하면 스탠드 고정과정에서의 중심점 간 변위량 2 $\mu\text{m}$  감소는 무시해도 좋을 듯 하며, 스탠드를 이용한 고정과정에서는 중심점 간 거리가 유지되었다고 생각된다. 한편 매몰재블록 납착군과 스탠드 납착군의 납착과정에서는 중심점 간 거리가 크게 감소하는 것으로 나타났으며 중심점 간 변위량과 총변위량도 네가지 실험군의 모든 제작과정 중 가장 많이 발생하였다. 이러한 납착과정에서의 주조체 변위는 주로 납재의 수축으로 인한 영향<sup>38)</sup>으로 보고된다. 그러나 일반적으로 모금속의 수축률과 동일한 수축률을 갖는 납재를 사용할 것이 추천<sup>43)</sup>되고 있으며 본 실험에서도 합금 제조사의 지시에 따라 모금속과 납재를 선택하였다. 따라서 납착과정에서의 큰 변위는 다른 요인이 작용하였을 것으로 짐작되며 본 저자의 생각으로는 납재의 적용 후 냉각과정에서의 금속과 매몰재 간의 냉각속도 차이에 따른 영향이 아닌가 한다. 즉, 모금속과 납재의 냉각속도는 빠르데 비하여 하부 매몰재고정 부분의 냉각속도는 늦음으로 인하여, 결과적으로 냉각 시 주조체가 납착연결 부위를 향해 기울어지는 형태를 갖게 되며, 이러한 회전변위에 의한 영향이 주조체 변위에 지대한 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 본 실험에서도 매몰재블록 납착군과 스탠드 납착군의 납착과정 후 납착연결부를 향해 원통이 크게 기울어짐을 관찰할 수 있었고 이 때 중심점 간 변위량과 총변위량도 유의하게 증가함을 나타내었다.

본 실험에 사용된 시편의 형태에서 회전변위의 중심이 납착연결부의 중앙에 있다는 가정 하에 회전변위량과 총변위량과의 관계는  $\Delta R = L \times \sin \Delta \theta_x / \sin(180^\circ - \Delta \theta_x / 2)$  ( $L$ : 납착연결부에서 중심점까지의 길이)로 계산될 수 있다. 즉  $\Delta \theta_x$ 가  $1^\circ$ 의 회전변위량이 발생하면 약 0.350mm의 총변위량이 발생하게 된다. 매몰재블록 납착군의 예를 들면 최종 총변위량은 0.444mm이며 회전변위량  $\Delta \theta_x$ 는  $-1.112^\circ$ 이다. 총변위량 중 회전변위에 의한 변위량을 위의 공식에 따라 계산하면 0.388mm가 된다. 또한 총변위량에서 회전변위에 의한 변위량을 제외한 값은 병진

변위량(translational displacement)으로 해석될 수 있으며  $0.444 - 0.388 = 0.056(\text{mm})$ 가 된다. 따라서 총변위량에 미치는 영향은 회전변위량이 병진변위량 보다 큰 것으로 생각된다. 납착군과 주조군의 총변위량의 비교에서 주조군에서의 변위량이 적은 것은 주조용 매물재가 주조체를 완전히 둘러싼 상태에서 팽창을 하기 때문에 주로 병진변위가 일어나며, 극히 제한적인 회전변위만을 허용하기 때문인 것으로 생각되고, 반면에 납착군에서의 큰 변위량은 금속과 매물재의 냉각속도 차이에 따른 주조체의 비교적 자유로운 회전변위가 허용되었기 때문으로 생각된다. 이러한 것은 본 실험의 결과에서도 확인할 수 있다(Table 4). Ziebert 등<sup>1)</sup>의 연구에서도 납착 후 교합면의 근원심 거리 감소가 치경부의 근원심 거리 감소보다 많았음을 보고하고 주조체 부적합의 주원인으로 warping phenomenon을 지적한 바 있다.

따라서 납착과정에서의 주조체 변위를 줄일 수 있는 방법으로는 현재 임상에서 사용하고 있는 매물재블록을 이용한 주조체 하부의 고정형태 보다는 납착연결부위를 제외한 주조체 전체를 매물재블록으로 감싸서 냉각 시 발생하는 주조체의 회전변위를 억제하는 형태가 바람직할 것으로 생각되며, 전술하였듯이 주조체 형태에 따른 매물재 블록의 크기와 형태에 관한 보다 체계적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그러나 도제전장관의 후납착의 경우에서와 같이 보철물 전체를 매물재블록으로 감싸는 것이 곤란할 경우에는 매물재를 이용한 납착법 대신 다른 대안이 제시되어야 할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 일체주조 고정성 국소의치와, 주조체 분할 후 매물재블록 납착법, 스탠드 납착법, 및 주조 연결법으로 연결된 고정성 국소의치의 연결방법에 따른 주조체 변위를 접촉식 삼차원 좌표측정기로 조사하였다.

직경 6mm, 길이 13mm의 티타늄 합금을 진원도 3 $\mu\text{m}$ 이하의 원통형태로 가공하였다. 원통의 윗면은 장축에 수직이 되도록 하였으며 측면 중앙부에는 높이 3mm, 깊이 1mm의 홈을 부여하여 일정한 규격의 납형제작이 가능하도록 하였고, 또한 홈의 하부 원통 측면에는 평면을 형성하여 윗면과 함께 3차원 좌표

측정의 기준 평면으로 이용하였다. 금속 기저판에 중심 간의 거리가 40mm가 되도록 서로 평행한 나사구멍을 형성하고 나사구멍과 같은 규격으로 제작된 positioning 포스트를 고정하였다. 고정된 두 개의 positioning 포스트에 각각 원통을 위치시킨 후 직경 3mm, 길이 36mm의 플라스틱 환봉과 패턴레진으로 두 원통을 연결하여 납형을 완성하였다.

두 원통의 연결방법에 따라 일체주조군, 매물재블록 납착군, 스탠드 납착군, 주조연결군의 네가지 실험군으로 나누고, 일체주조군으로 15개의 시편을 제작한 후 이를 분할하여 매물재블록 납착군 5개, 스탠드 납착군 5개, 주조연결군 5개씩으로 시편을 준비하였다.

각 실험군의 연결방법에 따른 고정성 국소의치의 변위 양상을 비교해 본 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 최종 총변위량은 매물재블록 납착군에서 가장 많이 발생하였고, 스탠드 납착군, 주조연결군과 일체주조군의 순이었으며 주조연결군과 일체주조군 간에는 유의차가 없었다.
2. 매물재블록 납착군과 스탠드 납착군에서는 납착인기과정과 고정과정보다 납착과정에서 큰 변위가 발생하였다.
3. 일체주조군에서는 납형제작과정보다 주조과정에서 변위가 많이 발생하였고, 주조연결군에서는 주조과정과 인기과정 사이에 유의한 차이가 없었다.
4. 납형제작, 납착인기, 스탠드 고정, 및 납착과정에서는 중심점 간 거리가 감소하였으나, 매물재블록 고정과 주조과정에서는 중심점 간 거리가 증가하였다.

## 참 고 문 헌

1. Ziebert GJ, Hurtado A, Glapa C, Schiffler BE. Accuracy of one-piece castings, preceramic and postceramic soldering. J Prosthet Dent 1986;55:312-7.
2. Bruce RW. Evaluation of multiple unit castings for fixed partial dentures. J Prosthet Dent 1964;14:939-43.
3. Garlapo DA, Lee SH, Choung CK, Sorensen

- SE. Spatial changes occurring in fixed partial dentures made as one-piece castings. *J Prosthet Dent* 1983; 49:781-5.
4. Schiffleger BE, Ziebert GJ, Dhuru VB, Brantley WA, Sigaroudi K. Comparison of accuracy of multiunit one-piece castings. *J Prosthet Dent* 1985;54:770-6.
  5. Worthington P, Bolender CL, Taylor TD. The Swedish, system of osseointegrated implant: Problems and complications encountered during a 4-year trial period. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1987;2:77-84.
  6. Sones AD. Complications with osseointegrated implants. *J Prosthet Dent* 1989; 62:581-585.
  7. Henry PJ. An alternative method for the production of accurate casts and occlusal records in the osseointegrated implant rehabilitation. *J Prosthet Dent* 1987;58:694-7.
  8. Davis DM, Zarb GA, Chao Y. Studies on frameworks for the osseointegrated prostheses:Part 1. The effect of varying the number of supporting abutments. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1988;3:197-201.
  9. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD. Fundamentals of fixed prosthodontics. 2nd ed. Quintessence;1981. p. 401-17.
  10. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics. 7th ed. Mosby;1987. p. 438-53.
  11. Dykema RW, Goodacre CJ, Phillips RW. Johnston's modern practice in fixed prosthodontics. 4th ed. Philadelphia:W.B. Saunders;1986. p.188-201
  12. Perdigon GJ, Van Eepoel EF. Minimizing solder joint warpage in fixed partial denture construction *J Prosthet Dent* 1957;7:244-9.
  13. Engel F. Soldering of fixed bridge-work without distortion *Internat. D. J.* 1957; 7:566-7.
  14. Weiss PA, Munyon RE. Repairs, corrections, and additions to ceramo-metal frameworks(II). *Quint. Dent. Technol.*, 7:45-58,1980.
  15. Fehling AW, Sansom BP, Meiser ET, Johnson PF. Cast connectors:an alternative to soldering base metal alloys. *J Prosthet Dent* 1986;55:195-7.
  16. Fehling AW. Cast connectors as cores for ceramometal pontics on removable partial dentures and for splinting anterior crowns.*J Prosthet Dent* 1990; 63:167-171.
  17. McCartney JW, Pearson R. Stabilization investment template for direct casting connection of implant framework segments. *J Prosthet Dent* 1997;78:106-8.
  18. 小柳律純男. 大形補綴物の 着法について-アルゴン雰 気爐内 着および被 着 金属固定装置について-. *歯科技工* 1978;6:219-29.
  19. 湯田雅士. ろう付母材の固定 現代の歯科ろう付テクニック. 東京:クインテッセンス出版; QDT別冊 1989. p. 82-96.
  20. Fusayama T, Wakumoto S, Hosoda H. Accuracy of fixed partial dentures made by various soldering techniques and one-piece casting. *J Prosthet Dent* 1964; 14:334-42.
  21. Huling JS, Clark RE. Comparative distortion in three-unit fixed prostheses joined by laser welding, conventional soldering, or casting in one piece. *J Dent Res* 1977;56:128-34.
  22. Gegauff A, Rosenstiel S. The seating of one-piece and soldered fixed partial dentures. *J Prosthet Dent* 1989;62:292-7.
  23. Suffert LW, Mahler DB. Reproducibility of gold castings made by present day dental casting technics. *J Am Dent Assoc* 1955;50:1-.
  24. Tan KB, Rubenstein JE, Nicholls JE, Yuodelis RA. Three-dimensional analysis of the casting accuracy of one-piece, osseointegrated implant-retained prostheses. *Int J Prosthodont* 1993;6:346-63.
  25. Lie A, Jemt T. Photogrammetric measurements of implant positions. Description of a technique to determine the fit between implants and

- superstructures. *J Oral Impl Res* 1994;5:1-7.
26. Riedy SJ, Lang BR, Lang BE. Fit of implant frameworks fabricated by different techniques. *J Prosthet Dent* 1997;78:596-604.
  27. Nicholls JI. The measurement of distortion: Theoretical considerations. *J Prosthet Dent* 1977;37:578-86.
  28. Nicholls JI. The measurement of distortion: Mathematical considerations. *J Prosthet Dent* 1978;39:339-43.
  29. Nicholls JI. The measurement of distortion: Concluding remarks. *J Prosthet Dent* 1980;43:218-23.
  30. Willis LM, Nicholls JI. Distortion in dental soldering as affected by gap distance. *J Prosthet Dent* 1980;43:272-8.
  31. Ash MM. Wheeler's dental anatomy, physiology, and occlusion. 6th ed. W.B. Saunders:1984. p.13.
  32. White GE. Osseointegrated dental technology. Chicago: Quintessence:1993. p. 115-20.
  33. Sass FA, Eames WB. Fit of unit-cast fixed partial dentures related to casting ring size and shape. *J Prosthet Dent* 1980;43:163-7.
  34. Jones DW, Wilson HJ. Variables affecting the thermal expansion of refractory investments. *Br Dent J* 1968;125:249-55.
  35. Mumford GM, Phillips RW. Measurements of thermal expansion of cristobalite type investments in the inlay ring. *J Prosthet Dent* 1958;8:860-7.
  36. Hinman RW, Tesk JA, Parry EE, Eden GT. Improving the casting accuracy of fixed partial dentures. *J Prosthet Dent* 1985;53:466-71.
  37. Martignoni M, Schonenberger A. Precision fixed prosthodontics: Clinical and laboratory aspects. Quintessence:1990. p. 401-17.
  38. Stade EH, Reisbick MH, Preston JD. Pre-ceramic and post-ceramic solder joints. *J Prosthet Dent* 1975;34:527-42.
  39. Willis LM, Nicholls JI. Distortion in dental soldering as affected by gap distance. *J Prosthet Dent* 1980;43:272-8.
  40. Monday JLL, Asgar K. Tensile strength comparison of presoldered and postsoldered joints. *J Prosthet Dent* 1986;55:23-7.
  41. Mojon P, Oberholzer JP, Meyer JM, Belser UC. Polymerization shrinkage of index and pattern acrylic resins. *J Prosthet Dent* 1990;64:684-8.
  42. Moon PC, Eshleman JR, Douglas HB, Garrett SG. Comparison of accuracy of soldering indices for fixed prostheses. *J Prosthet Dent* 1978;40:35-8.
  43. Phillips RW. Skinner's Science of dental materials. 7th ed. W.B. Saunders:1973. p. 570.



## ABSTRACT

# THREE-DIMENSIONAL COMPARISON OF FRAMEWORK DISPLACEMENTS JOINED BY VARIOUS CONNECTION TECHNIQUES.

Jang-Seop Lim, Young-Chan Jeon, Chang-Mo Jeong

*Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Pusan National University*

This study measured the relative displacements of the five-unit fixed partial dentures as cast with the same fixed partial dentures sectioned and assembled by investment-soldering, soldering stand-soldering, and cast-joining techniques.

A total of fifteen specimens using a type IV gold alloy were one-piece cast as control and then sectioned and assembled five test specimens for each method were prepared. A computerized three dimensional coordinate measuring machine and specially designed cylinder for this study were used.

Displacement was defined by six displacement variables for the each of cylinders incorporated in each casting: three component displacements ( $\Delta L_x$ ,  $\Delta L_y$ , and  $\Delta L_z$ ) and rotational displacements ( $\Delta \theta_x$ ,  $\Delta \theta_y$ ,  $\Delta \theta_z$ ). The global displacement was computed using the mathematical formula

$$\Delta R = \text{Global displacement} = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}$$

Under the conditions of this study, the following conclusions were drawn:

1. The investment-soldering group showed the largest mean value of final global displacements, followed by stand-soldering group, cast-joining group and one-piece cast group. However, between the mean values of final global displacement for the cast-joining group and one-piece cast group, there was no significant difference.
2. For investment-soldering and stand-soldering groups, the greater global displacements were recorded in soldering phase than in indexing or investing phase.
3. For one-piece cast group, the displacements occurred mostly in the casting phase. And for cast-joining group, there was no significant difference in global displacements among the fabricating procedures.
4. Intercentroidal distance decreased in framework-patterning, solder-indexing, solder-standing, and soldering phases, but increased in investment block-investing and casting phases.
5. Specially designed cylinder for touch-trigger type coordinate measuring machine was validated.

---

**Key words** : Soldering, Cast-joining, Displacement