

전기방전가공법을 이용한 임플란트 보철물의 적합도 연구

서울대학교 치과대학 치과보철학교실

한의택 · 김영수 · 김창희 · 양재호

I. 서 론

성공적으로 골유착이 이루어진 임플란트에 부착된 보철물이 장기간 효과적으로 기능을 수행하기 위해서는 적절한 설계, 정밀한 적합, 올바른 교합 수복 등이 필요하다.¹⁾ 임플란트 보철물과 하부 구조물 사이의 정확하고, 수동적인 적합은 보철물의 장기적 성공에 필수적이다.²⁾ 이것은 임플란트-골 계면의 특수한 관계 및 상부구조물 연결과 보철물 기능시의 균일한 스트레스 분배의 필요성 때문에 요구된다.^{3,4)}

잘 적합하지 않는 임플란트 구조물은 보철물과 임플란트 시스템의 기계적 실패나 생물학적 합병증을 야기할 수 있다.^{5,6)} 기계적 합병증에는 보철물과 인공지대치의 나사 풀림 혹은 시스템의 여러 구성품들의 파절을 포함하며^{7,8)}, 생물학적 합병증으로는 동통, 압통, 변연골 흡수 및 골유착의 상실 등이 야기될 수 있다.^{9,10)}

지금까지 주모형의 검증, 다양한 납착 방법, 구강 내에서 보철구조물을 금실린더 등 임플란트 구성품에 직접 접촉하는 방법, 레이저 welding 등 임플란트 보철물의 적합도를 증진시키기 위한 많은 노력이 있었다.¹¹⁾

전기방전가공법(electric discharge machining)도 그 중의 하나인데, 이 방법은 고에너지의 전기방전을 이용하여 금속을 정밀하게 가공하는 방법이다.²⁾ 가공 과정 중 작업체는 전극으로부터의 잘 제어되는 전기방전으로 침식된다. 전극에서

작업체로의 전기방전은 전극과 가장 근접한 부위의 작업체 금속을 제거하며, 원하는 형태의 전극 사용시 작업체를 원하는 형태로 가공할 수 있다.¹³⁾ 현재 치과기공분야에서 전기방전가공법은 정밀부착장치의 제작, 이종치관의 제작, 타이타늄 도재관의 제작, 하부구조물과 상부구조물의 적합도 수정, 임플란트 보철물의 적합도 수정 등에 이용되고 있다.¹⁴⁾

임상적으로 보철물의 적합도는 다양한 방법으로 측정된다. 시각과 촉각을 이용하거나 보철물의 양쪽 끝을 손가락으로 번갈아 눌러 측정하는 방법, 방사선 사진 이용법, one-screw test, screw resistance test 및 disclosing media 등 재료를 이용하는 방법 등이 사용되고 있다.¹⁵⁾

보철물의 적합도를 연구하기 위하여 광학현미경, 반사현미경, 주사전자현미경, 격자무늬 사진촬영법, 이미지분석기 및 strain gauge 등이 사용되었으며¹²⁾, 지금까지 주조체의 정확도에 관한 대부분 연구는 원래 모형에 재워치한 보철물의 변연 불일치 정도를 이차원적으로 측정하여 선상변위만을 상호 비교하였으나^{16,17)}, 이 방법은 모형재의 특성이나 주조체 내면의 상태가 적합도에 큰 영향을 줄 수 있기 때문에, 보철물의 삼차원적 변위를 반영하지 못하는 문제를 안고있다.

한편 Jemt 등¹⁸⁾은 구조물의 적합오차를 3차원적으로 정량화 할 수 있는 4종의 시스템을 보고하였는데 이 중 두 가지는 stylus contact 법을 사용하고 다른 하나는 레이저를 측정원으로 하며, 또 다

른 하나는 photogrammetry 를 이용하여 데이터를 x, y, z축의 3차원 좌표방식으로 제공하여 선상과 각도적 관계를 정량화 할 수 있다. 삼차원 좌표 측정법은 측정점의 위치를 삼차원 상대 좌표로 채득하여 시편을 재 위치시킬 때 발생할 수 있는 공간적 오차를 배제할 수 있다는 장점이 있다.¹⁹⁻²²⁾

지금까지 전기방전가공법의 원리와 기구를 소개하고, 이를 이용한 증례를 보고한 여러 문헌이 있었지만^{2,12-14,23-33)}, 이 방법을 과학적으로 분석하고, 평가한 연구는 많지 않다. 이에 본 연구에서는 전기방전가공 전, 후의 임플란트와 상부보철물 간의 적합도 변화를 비교하기 위하여 5개의 임플란트를 식립한 완전무치악 상황을 설정한 주모형상에서 금속구조물을 제작하고, 주모형과의 적합도를 3차원 좌표측정기로 측정하여 비교하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 금속인상체와 주모형의 제작

금속구조물을 제작하고 측정하기 위한 주모형의 제작과, 이 주모형을 동일하게 재현하는 전기방전가공모형의 제작을 위하여 완전무치악 환자에 5개의 임플란트를 식립한 상황을 설정하여 스테인레스 금속 블럭을 선반가공, 각 임플란트 위치부에 Brånemark 사각형 인상코핑(squared impression coping, DCA-040, Nobel Biocare, USA)이 들어갈 부위를 형성한 후, 사각형 인상코핑을 위치

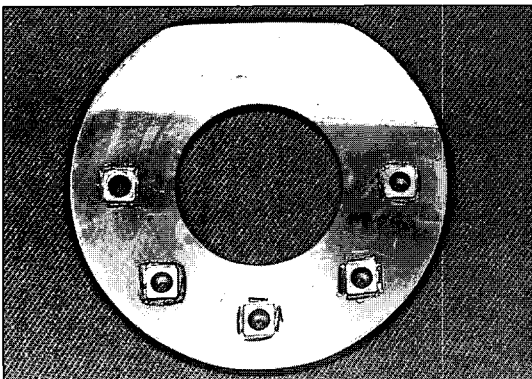


Fig. 1. Metal impression.

시키고 압착고정하여 금속인상체를 제작하였으며 (Fig. 1), 우측 최후방 임플란트를 1번으로 하여 시계 반대방향으로 5번까지 각 임플란트의 위치를 부여하였다.

금속인상체에 Brånemark 인공지대치 유사체 (abutment replica, DCB 175-0, Nobel Biocare, USA)를 연결한 후 치과용 석고로 3개의 주모형 (모형 A, B, C)을 제작하였다.

2. 금속구조물의 제작

각각의 주모형상에서 4mm Brånemark 금실린더(DCA 072-0, Nobel Biocare, USA)와 플라스틱 패턴, 패턴 레진(GC Co., Japan)으로 금속구조물 패턴을 제작하였으며, 통법에 따라 제4형 금합금(DM-53, We DongMyung Co., Korea)으로 금속구조물을 주조, 제작하였다 (Fig. 2).

3. 측정

완성된 금속구조물과 주모형의 3차원 공간좌표 측정을 위하여 접촉식 측정기인 PICZA PIX-4 (Roland DGA Co., Japan)와 비접촉식 광학측정기(optical digitizer), optoTOP-system (Breukman GmbH, Germany)을 사용하였으며 (Fig. 3, 4), 데이터 처리를 위하여 3차원 reverse modeler 인 RapidForm 2000 (INUS Technology Inc., Korea) 프로그램을 사용하였다.

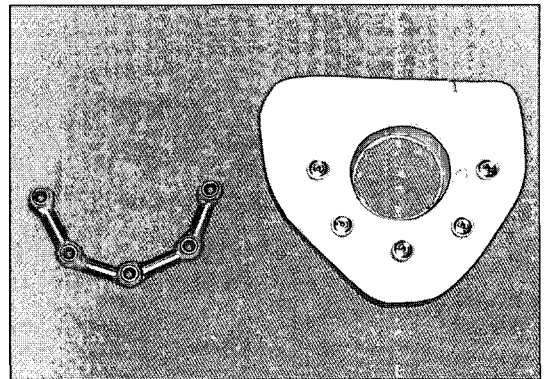


Fig. 2. Gold framework(left) and master model.

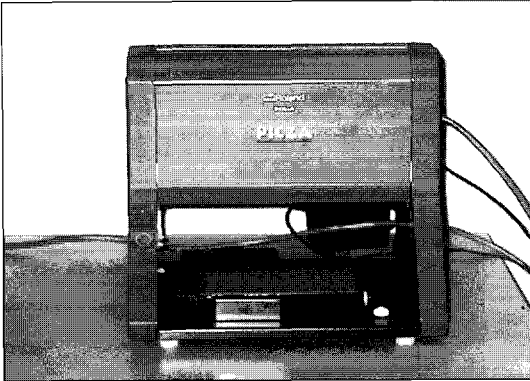


Fig. 3. PICZA PIX-4.

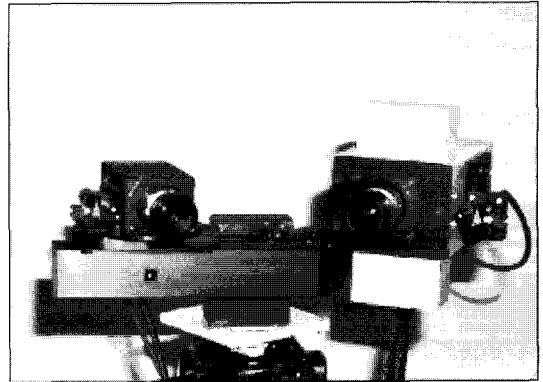


Fig. 4. Opto-TOP system.

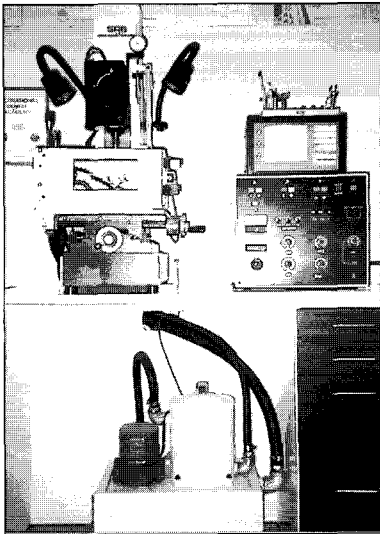


Fig. 5. SAE 2000 system.

4. 전기방전가공용 모형 제작과 전기방전가공

금속인상체에 SAE사 Secotec system의 Brånemark standard system 용 임플란트 유사체 (implant analog, 82-0081 SAE GmbH, Germany)와 인공지대치 (clinical abutment, 82-0100 SAE GmbH, Germany)를 연결하고, 각 임플란트 유사체에 구리선을 연결하여 전류가 흐를 수 있도록 한 후 치과용 석고를 주입하여 전기방전 가공용 모형을 제작하였다.

통상의 주조법으로 제작된 금속구조물을 1차로 측정한 다음, 전기방전가공용 모형과 SAE-2000

(SAE GmbH, Germany) 전기방전가공 장비 (Fig. 5)를 이용하여 가공을 하였다.

5. 전기방전가공 후 금속구조물 재측정

전기방전가공이 끝난 금속구조물을 가공 전과 동일한 방법으로 재측정하였다.

Ⅲ. 연구성적

접촉식 및 비접촉식 3차원 좌표측정기로 측정된 금속구조물과 주모형의 μm 단위 측정점들을 RapidFORM 2000 프로그램을 이용하여 형상면을 생성하고 (Fig. 6), 모형의 이미지 처리 (Fig. 7) 후, 주모형과 금속구조물의 데이터를 프로그램 상에서 적합시켜 두 구조물사이의 적합도를 측정하였다 (Fig. 8).

1. 금속구조물과 주모형간의 접촉면 평균거리 측정

금속구조물과 주모형 사이의 적합도를 측정하기 위하여, 금속구조물의 금실린더와 주모형의 인공 지대치 유사체 접촉면 (bearing surface) 사이의 거리를 측정하였다. 전기방전가공 전, 후 모형별 각 임플란트에서 접촉면 평균거리와 표준편차는 Table I과 같으며, 금속구조물 금실린더의 접촉면에서 측정된 각 모형에서의 전기방전가공 전, 후의 거리는 Fig. 9~14와 같다.

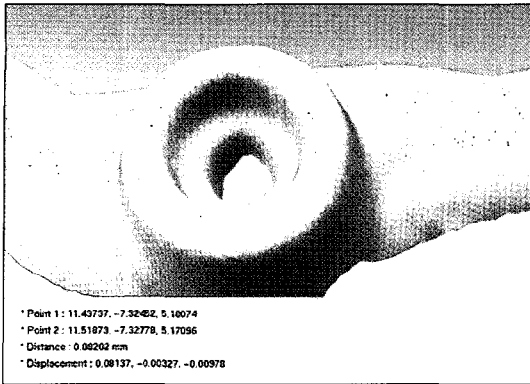


Fig. 6. Image of polygon mesh data.

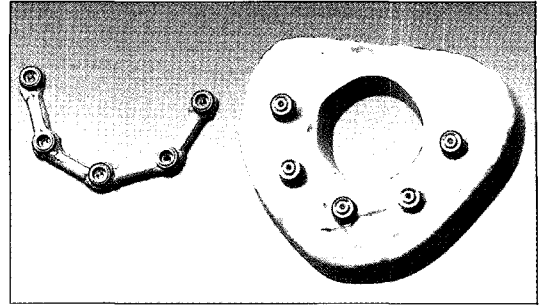


Fig. 7. Graphic representation of gold framework and master model before superimposition.

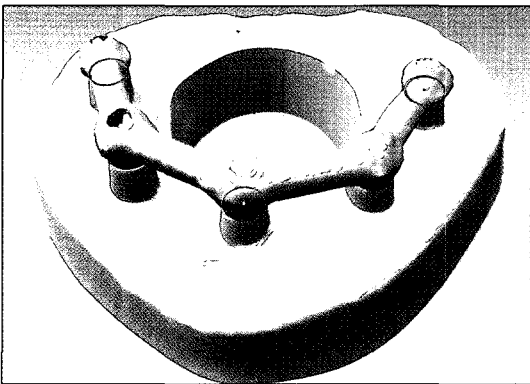


Fig. 8. Graphic representation of gold framework and master model after superimposition.

통계는 paired t-test로 하였고, 통계처리는 SigmaStat for Windows Version 2.03을 사용하였다. $p < 0.05$ 의 경우 유의성이 있는 것으로 판정하였다.

전기방전가공 전, 후 금실린더와 인공지대치 유사체 접촉면사이의 모형별 평균거리와 표준편차를 측정된 결과로 Table II, Fig. 15와 같다. 세 모형 모두에서 전기방전가공 후 금실린더와 인공지대치 유사체의 접촉면 사이의 거리가 감소되었으며, 세 모형을 합한 총평균거리 ($p < 0.01$)와 표준편차 ($p < 0.001$)는 유의하게 감소하였다 (Fig. 16).

Table I. Mean and standard deviation(SD) of distance between gold framework and abutment bearing surface in absolute figures before and after EDM (Unit : μm)

Position	Model A		Model B		Model C	
	Before	After	Before	After	Before	After
1						
Mean	18	18	14	8	21	11
SD	15	17	10	8	13	8
2						
Mean	22	10	27	18	56	12
SD	14	9	14	13	16	8
3						
Mean	15	12	15	12	19	13
SD	10	7	13	8	13	8
4						
Mean	54	14	34	13	47	12
SD	23	11	19	11	16	12
5						
Mean	21	12	18	11	20	12
SD	19	10	13	7	13	10

2. 접촉면 사이의 최대거리 측정

모형별 각 임플란트의 전기방전가공 전, 후 접촉면 사이 최대거리를 측정된 결과는 Table III과 같고 모형별 최대거리의 평균값을 측정된 결과로 Fig. 17과 같다. 두 접촉면의 최대거리 역시 전기방전가공 후 감소하였으며, 세 모형의 최대거리 총평균값도 유의하게 ($p < 0.05$) 감소되었다 (Table

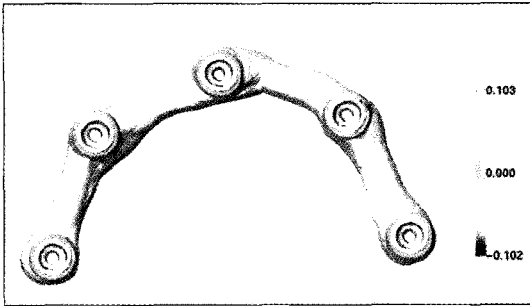


Fig. 9. Deviation of model A, before EDM(unit : mm).

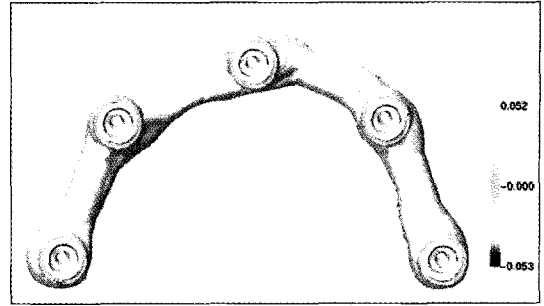


Fig. 10. Deviation of model A, after EDM(unit : mm).

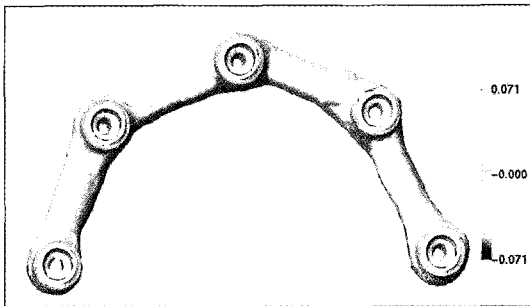


Fig. 11. Deviation of model B, before EDM(unit : mm).

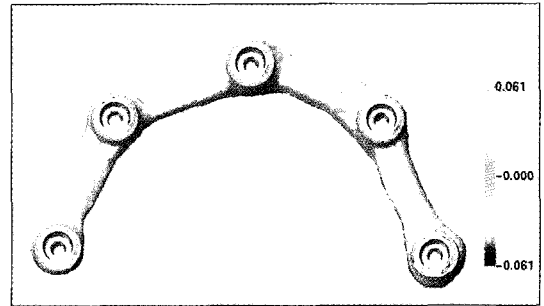


Fig. 12. Deviation of model B, after EDM(unit : mm).

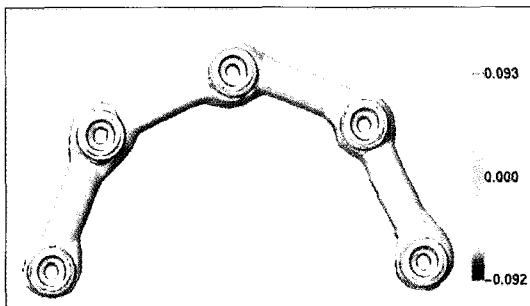


Fig. 13. Deviation of model C, before EDM(unit : mm).

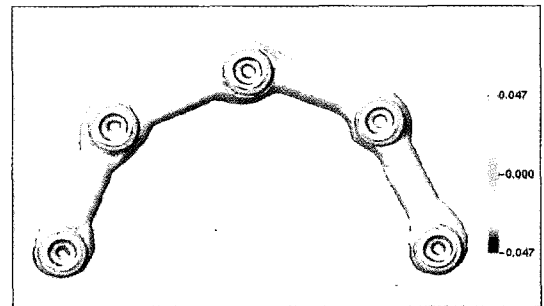


Fig. 14. Deviation of model C, after EDM(unit : mm).

IV, Fig. 18).

3. 금속구조물과 주모형 사이의 각도측정

나사고정식 임플란트 보철물의 특성상 보철물과 임플란트 인공지대치 사이의 각도도 적합도에 중

요한 요소가 된다. 전기방전가공 전, 후에 각 임플란트에서 금실린더의 중점(centroid point)과 인공지대치 유사체의 중점이 이루는 각도를 측정하였을 때 (Fig. 19) 그 평균 각도차는 Table V 및 Fig. 20과 같이 전기방전가공 후 감소되었다.

Table II Mean measurements and standard deviations(SD) of the framework before and after EDM (Unit : μm)

	Before EDM	After EDM
Model A		
Mean	26	13
SD	22	12
Model B		
Mean	18	16
SD	16	13
Model C		
Mean	25	12
SD	17	10

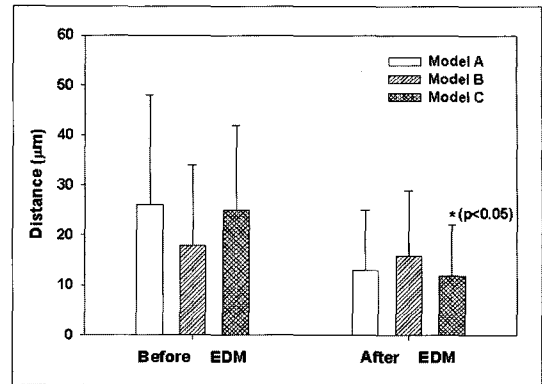


Fig. 15. Mean measurements and standard deviation of the framework before and after EDM.

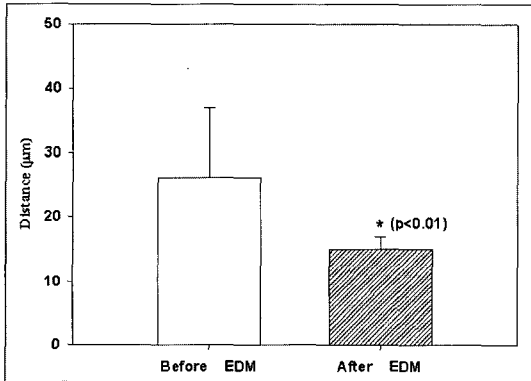


Fig. 16. Total mean and standard deviation of distance between framework and master model.

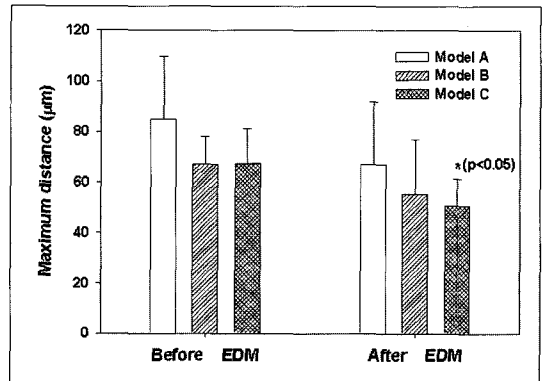


Fig. 17. Mean of maximum distance between framework and master model.

Table III. Maximum distance between framework and master model before and after EDM

Position	Model A		Model B		Model C	
	Before	After	Before	After	Before	After
1	83	110	53	41	60	43
2	68	53	79	82	82	52
3	54	64	59	37	50	45
4	108	58	74	77	82	69
5	111	51	71	40	64	45
Mean	85	67	67	55	67	51*
SD	25	25	11	22	14	11

* Significantly different from before EDM, $p < 0.05$

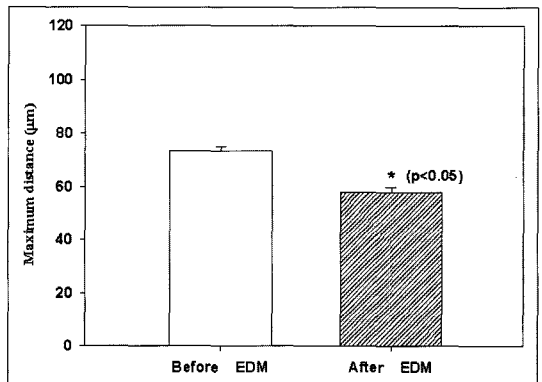


Fig. 18. Total mean and standard deviation of maximum distance between framework and master model.

Table IV. Total mean and standard deviation(SD) of maximum distance between framework and master model (Unit : μm)

	Before EDM	After EDM
Total Mean	73	58 *
SD	19	20

* Significantly different from before EDM $p < 0.05$

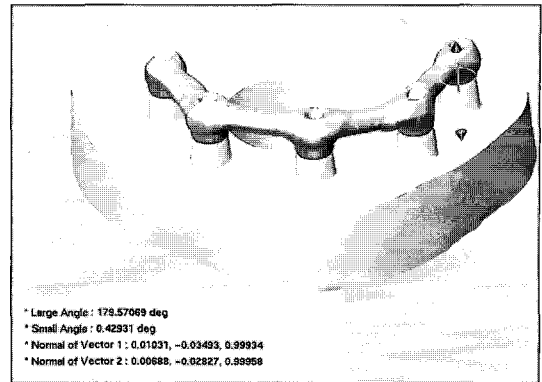


Fig. 19. Measurement of angle deviation.

Table V. Mean angle deviations of the framework before and after EDM (Unit : Degree)

	Before EDM	After EDM
Model A		
Mean	0.354	0.337
SD	0.279	0.217
Model B		
Mean	0.373	0.320
SD	0.296	0.203
Model C		
Mean	0.706	0.314
SD	0.569	0.201

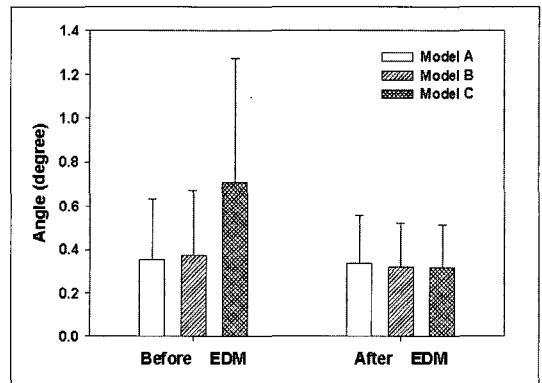


Fig. 20. Mean angle deviation.

IV. 총괄 및 고안

유럽에서 스파크 침식법(spark erosion)이라고 불리는 전기방전가공법은 잘 통제되는 조건의 액체 매개체 속에서 일련의 전기방전을 통해 작업체로부터 재료를 침식하는 방법이다.²⁵⁻²⁸⁾ 자연상태의 전기방전이라고 할 수 있는 번개를 관찰하며 생긴 아이디어가 점차 발전되어 1700년대 후반 Joseph Priestly 경이 전기방전 현상과 전기 전도체에 대한 침식효과를 연구하였고, 2차 세계대전 직후 러시아의 Lazerenko 형제가 첫 전기방전가공장비를 발표하였는데 그 후 전기방전가공법은 거의 50년 동안 산업분야에서 이용되고 있으며, 1950년대부터 1970년대까지의 기술의 발전은 전기방전가공법이 산업에서 중요한 가공방법이 되게 하였다. 특히 트랜지스터의 발명으로 장비의 속도와 신뢰

도가 증가되었고, 1980년대에 컴퓨터 기술과 접목되면서 정밀도가 높은 정교한 전기방전가공 장비가 개발되었다.^{23,31)}

액체 매개체는 유전액(dielectric fluid)이라고 불리는 경유이며, 일정한 유전상수를 갖는 정전기장을 유지시키고²⁹⁾, 절연체, 전도체, 냉각제 및 방전 과정에서 생긴 금속조각들을 제거하는 역할을 한다.²³⁾

전기방전가공의 정확한 본질에 대하여는 잘 알려지지 않았으나, thermoelectric model이 열과 전류가 어떻게 함께 금속조각을 높은 정밀도를 갖고 효과적으로 제거하는지를 설명하기 위하여 제안된 바 있다.²³⁾ 이 모델에 따르면 전기방전가공의 단일 주기는 작업체에 전극이 접근하며 증가하는 전압이 가해질 때 시작된다. 전기장은 전극과 작업체간에 가장 가까운 지점에서 가장 강력하며 전압의 증

가에 따라 유전액이 이온화된 미립자로 파괴되기 시작하고 이 이온화된 미립자들이 전기장의 가장 강한 부분으로 끌려가게 된다. 최고의 전압에서 증가된 수의 이온화된 미립자들이 전기장의 가장 강력한 부분을 중심으로 한 채널을 형성하게 된다. 유전액의 절연효과를 극복할 수 있을 정도의 충분히 이온화된 미립자들이 모이면 전류가 형성되는데, 전류가 형성되면 전압이 떨어지기 시작하고 재빨리 열이 생성된다. 전극과 작업체 사이에 열기화된 유전액과 작업체 및 전극으로 구성된 방전채널이 생기기 시작하고 기화된 물질이 축적되며 방전채널 주위로 기포를 발생한다. 계속 전류가 증가하면서 매우 강력한 전자기장이 방전채널에 생긴다. 전자기장에 끌린 이온이 기화기포가 바깥쪽으로 팽창하는 것을 방지한다. 한 주기가 거의 완료됨에 따라 전류와 전압은 안정화하고 열과 기화기포 안의 압력은 최고조에 달한다. 약간의 금속이 강한 전류에 의해 기화되었지만 방전 하방의 금속의 대부분은 용융상태로 남아 기화기포의 압력으로 제자리에 유지된다. 한 주기가 끝나면 전류와 전압은 0으로 떨어지며 급속히 온도가 감소되면서 기화기포가 붕괴되고 용융된 금속이 작업체로부터 떨어져 나올 수 있게 된다. 작업체의 표면은 다시 들어오는 유전액에 의해 냉각되고 잔사도 씻겨 나간다. 기화기포의 잔유물들이 유전액의 표면에서 발생하여 녹았다가 작은 고체 구를 형성하여 경유 내에 퍼져 있는 금속들을 밀어내는데 이 사이클은 초당 250,000번 정도로 일어날 수 있다.^{23,28)} 전극은 전기방전가공과정의 속도와 정확성을 결정하는 중요한 요소이며, 금속과 흑연 두 가지를 주재료로 한다.^{23,27,29)}

치과 분야에서 전기방전가공법은 1982년 Rübeling이 소개하였는데^{24,26)}, 그는 정밀부착장치의 편 삽입구나 금속 수용부 제작시 전기방전가공법을 처음 사용하였다. 1982년 Windler는 주조된 금관의 적합도를 증진하기 위하여 copper-plated replica die를 사용하여 전기방전가공법을 사용하였으며, Sillard는 1990년 하부금속구조 바와 상부금속구조를 사용하는 고정식 가철성 치과임플란트 계통에 전기방전가공법을 이용하였다.^{23,25,26)}

Van Roekel²⁵⁾과 Ercoli 등²⁶⁾도 전기방전가공법을 사용하는 하부 선반가공 바와 상부구조물 보철물

에 대하여 보고하였다. Weber 등²⁷⁾은 비귀금속 합금의 두꺼운 산화막 형성 특성상 직접 주조하여 제작이 어렵던 정밀부착장치를 전기방전가공법을 이용하여 귀금속과 같은 정도의 마찰을 갖도록 제작할 수 있다고 하였다. Toljanic 등³¹⁾은 전기방전가공법으로 제작한 임플란트 지지 overdenture를 임상적으로 평가하여 양호한 결과를 얻었다고 보고하였다. Schmitt 등¹³⁾과 Evans²⁾는 UCLA abutment를 이용하여 제작한 상부보철물의 적합도를 전기방전가공법으로 수정하는 술식을 보고하였으며, Schmitt 등³²⁾은 기존의 주조 방법 대신 레이저 스캐닝과 CAD-CAM, 그리고 전기방전가공법을 이용, 타이타늄 괴를 가공하여 임플란트 상부보철물을 제작하는 술식을 소개하였다.

Linehan 등²⁸⁾은 strain gauge를 이용한 3차원 측정을 통하여 전기방전가공법에 의해 금속구조물의 적합도가 향상됨을 보고하였다. Harris 등¹²⁾은 주조 금합금 코핑과 전기방전가공된 타이타늄 코핑의 적합도를 측정하여 전반적인 적합도는 두 종류의 코핑이 유사하였으나 변연부위에서는 전기방전가공된 타이타늄 코핑에서 적합도가 감소함을 보고하였는데 이것은 Procera 시스템의 probe tracing 과정과 관련된 것이었고 전기방전가공 자체의 정확도를 보여주는 실험은 아니었다. 한편 Andersson 등³³⁾은 전기방전가공법의 가공오차를 측정된 결과 10 μ m이내의 정밀도를 보이며 Procera 시스템의 금관 제작시 42에서 56 μ m 범위의 변연 적합오차를 보여 임상적으로 수용할 수 있는 변연적합도를 보였다고 하였다.

본 실험에서 사용한 치과전용 전기방전가공 장비인 SAE사의 SAE-2000은 25 A의 출력으로 타이타늄을 비롯하여 치과 영역에서 사용하는 모든 금속에 사용할 수 있다. 이 장비는 가공부와 oil과 filter system, 그리고 generator와 제어박스로 구성되어 있다. 전기방전가공은 열로 금속을 녹여 제거하는 과정이기 때문에 작업금속의 전도도와 용융점이 전기방전 과정에 필요한 전기에너지의 양을 결정하는데 중요하다. Generator에는 7단계로 전류를 선택하는 전류선택스위치, 전기방전 시간을 조절하는 On-Time 스위치, 전기방전 시간간격을 조절하는 Off-Time 스위치, 전기방전 거리를 조절하는 Servo-control knob, 작업부의 민감도를

조절하는 Servo-sensitivity knob, 그리고 전극선택 스위치 등이 있으며 이러한 여러 가지 조절 요소는 작업의 종류나 금속의 종류에 따라 선택 조절한다.^{14,29)}

전기방전가공 중 전극도 침식이 일어난다. 따라서 변형된 전극은 새 과정을 시작하기 전에 교체해줘야 한다. 가공내용에 따라 방전회수가 결정이 된다.³⁰⁾ 본 실험에서는 일차적으로 제작된 금속구조물의 적합도가 양호하고, 전기방전가공이 잘 되는 금실린더이므로 1주기의 전기방전가공 과정으로 원하는 수준의 적합도를 얻을 수 있었다.

Van Roekel^{23,25)}은 전기방전가공이 열에 의한 과정이므로 금속의 경도에 영향받지 않고, 제거하는 금속과 접촉하지 않으므로 가공체의 집착성이 영향을 주지 않으며, 비교적 매끄러운 표면을 얻을 수 있고, 기계적 힘이 생기지 않으므로 얇은 대상도 변형없이 가공할 수 있으며, 전극의 파절을 일으킬 수 있는 토크가 거의 작용되지 않으므로 길고 작은 직경의 절삭이 가능한, 10 μ m의 정밀도를 갖는 방법이라고 하였다. 하지만 단점으로 고가의 장비가 필요하고, 기공과정에 숙련된 기공사가 필요한 점이다.²⁶⁾

본 실험은 주모형의 인공지대치 유사체와 금속구조물 사이의 적합도 측정을 위하여 3차원 형상 정보 처리시스템을 사용하였다. 측정장비는 비접촉식 광학측정기인 optoTOP-system과 접촉식 측정기인 PICZA PIX-4를 사용하였으며, 데이터 처리를 위하여 3차원 reverse modeler인 RapidForm 2000 프로그램을 사용하였다. optoTOP-system은 100W 할로겐 램프로부터의 다중광도조절 시스템(highly stabilized light source)과 그레이코드와 Phase-shift 기법을 이용하여 고정밀 패턴을 생성하는 MPT (Miniature Projections Technique) 기술을 이용하여 3차원 형상에 맺히는 패턴을 고해상도 CCD (Charge Coupled Devices) 카메라에서 읽어 수학적 계산으로 μ m 단위의 정밀한 형상데이터를 추출하였다. PICZA PIX-4는 optoTOP-system에서의 형상데이터를 보완하기 위하여 사용하였다.

RapidForm 2000 프로그램은 optoTOP-system에서 얻어지는 측정점을 이용하여 모형의 형상면들을 생성하고 모형의 이미지 처리, 모형간의 적

합, 적합면 사이의 편차 등을 측정하였다. 이 시스템의 정확도는 $\pm 10\mu$ m이다.

3차원 좌표측정법을 이용한 여러 연구 중에, photogrammetry 방법은 적합오차로 초래되는 금속구조물의 변형과 골과의 관계³⁴⁾를 비롯하여, 임플란트 주변에서의 연조직 변화 측정³⁵⁾ 등의 연구에 사용되었다. Kan 등¹⁵⁾은 3차원 좌표측정방식의 측정법 중 photogrammetry가 유일하게 구강 내에서 사용 가능한 방법이라고 하였고 Mulcahy 등³⁶⁾은 임플란트 보철물의 적합도 측정을 위하여 접촉식 3차원 좌표측정기로 3차원 공간데이터를 측정할 때, 금속구조물 외부에 기준면과 좌표의 기준을 설정하는 실험모델을 제시하고자 하였다. Riedy 등³⁷⁾은 laser videography를 이용하여 one-piece 주조법과, Procera 시스템으로 가공한 금속구조물 및 laser-welded 금속구조물 사이의 적합도 차이를 비교한 바 있다.

Tan 등³⁸⁾, 그리고 Lie 등³⁹⁾은 임플란트 각 구성품의 접촉면 중점과 그 점의 장축을 측정하는 centroid method를 일반적 데이터 형태로 제시한 바 있다. 따라서 대응하는 한 쌍의 중점을 비교하므로 적합오차가 x-y축과, z축 방향의 두 가지 공간벡터로 나타내어 질 수 있다. 본 실험에서도 처음에는 이 방법에 따라 측정하고 비교할 계획이었으나 전기방전가공 후 금실린더의 접촉면의 단면은 원래의 금실린더 같은 완전한 원을 이루는 것이 아니며, 또 Secotec system의 구리전극은 금실린더보다 직경이 더 크므로 금실린더의 바깥쪽 단면도 원래와 같은 완전한 원형이 되지 않았다. 적합오차가 작은 경우 그 차이는 미세하나 수정량이 많은 경우 인공지대치에 맞추어 수작업으로 외형을 조절해야할 필요성이 있어 보였다. 따라서 전기방전가공 후 centroid method에 의한 데이터의 비교는 적절하지 않았기에 프로그램 상에서 금속구조물과 주모형을 결합시킨 후, 금속구조물의 금실린더의 접촉면과 대응되는 주모형상의 인공지대치 유사체 접촉면 사이의 거리를 측정하여 적합도를 측정하고자 하였다. 또 주모형에 금속구조물을 위치시키는 것은 Riedy 등³⁷⁾이 사용한 방법을 응용, 최전방부 임플란트 금실린더 접촉면의 중점과 인공지대치 유사체의 접촉면 중점을 일치하게 한 후, 양쪽 최후방 임플란트에서 금실린더 접촉면 중점과 인

공지대치 유사체 접촉면 중점이 가장 가깝게 되는 관계를 최고 적합상태로 판단, 수학적 계산을 통해 적합시켰다 (Fig. 8). 컴퓨터 프로그램 상에서 금속구조물과 주모형을 중첩할 때 중점을 기준으로 하였으므로 측정값에는 두 구조물이 겹치는 관계를 의미하는 마이너스 측정값이 존재하였다. Jemt 등⁴⁰⁾은 photogrammetry 방법을 이용, 타이타늄 구조물의 적합도를 측정하며 방향에 관계없이 변형을 측정하기 위하여 절대값을 이용하였는데 본 연구에서도 접촉면간의 거리는 절대값을 측정하였다. 이 결과 최대거리값이 실제보다 적게 측정되었을 것으로 생각된다. 전기방전가공 전, 후에 모형의 각 임플랜트에서의 최대거리값은 Jemt⁴¹⁾가 제시한 임플랜트 보철물에서 허용되는 적합오차인 150 μ m 이내의 측정값을 보였다. 대응되는 구조물의 중점을 이용하여 프로그램 상에서 중첩할 때 겹치지 않고 최대로 근접하는 상황을 재현할 수 있는 측정 프로그램의 개발이 필요하다고 생각된다.

본 실험에서 전기방전가공 후 접촉면 사이의 거리와 각도차가 감소되어 적합도가 증가하였다. 그러나 전기방전가공법으로 200 μ m 이상의 오차를 수정하는 경우 비록 변연부위에서는 수동적 적합을 얻을 수 있으나 인공지대치 내의 나사선과 상부 구조물내의 나사 삽입구 방향이 일치하지 않아 나사를 잠글 수 없는 위치관계를 가질 수 있다.¹⁴⁾ 본 실험에서는 처음 예상과 달리 금속구조물과 인공지대치 유사체가 이루는 각도가 전기방전가공 후 감소되었다. 이는 통법에 의해 제조된 전기방전가공 전 금속구조물이 비교적 양호한 적합도를 보였기 때문에 보여진다. 전기방전 가공법은 수직적인 적합오차를 교정하는데는 효과적인 방법이나 수평적 오차의 교정에 대하여는 부족한 것으로 생각된다. 또한 전기방전가공 후 가공면이 선반가공된 임플랜트 부품 보다 표면조도가 증가하였다. 이러한 표면조도의 증가와 이에 따른 생물학적 영향 등에 대해서도 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

금속구조물의 구강 내 적합도는 결코 주모형의 정확도 보다 더 좋을 수 없으므로⁴²⁾ 전기방전가공용 모형을 구강 내 상황과 가능한 한 동일하게 제작하는 것과, 주조하여 제작하는 초기 금속구조물을 전기방전가공법으로 수정 가능한 오차범위 내

에서 제작하는 것이 중요하다고 사료된다.

V. 결 론

임플랜트 보철물의 적합도 증진을 위하여 사용하는 전기방전가공법을 평가하기 위하여, 5개의 임플랜트가 식립된 3개의 주모형 상에서 제작한 금속구조물의 전기방전가공 전, 후 적합도를 접촉식 및 비접촉식 3차원 좌표측정기로 측정, 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 세 모형 모두에서 전기방전가공 후 금속구조물의 금실린더와 주모형의 인공지대치 유사체 접촉면 사이의 평균거리와 표준편차가 감소하였고, 세 모형의 접촉면간 거리의 총평균값 ($p < 0.01$)과 표준편차 ($p < 0.001$)가 유의하게 감소하였다.
2. 전기방전가공 후 세 모형의 접촉면 사이 최대거리 평균값이 줄어들었으며, 세 모형의 최대거리 총평균값도 유의하게 ($p < 0.05$) 감소하였다.
3. 금속구조물과 주모형의 임플랜트 인공지대치 유사체가 이루는 각도차가 감소하였다.

REFERENCES

1. Taylor RL, Bergman GF. Laboratory techniques for the Brånemark system. Quintessence Publ Co., 1990. 9-10.
2. Evans DB. Correcting the fit of implant-retained restorations by electric discharge machining. J Prosthet Dent 1997;77:212-5.
3. Brånemark P-I, Zarb GA, Albrektsson T. Tissue-integrated prostheses: Osseointegration in clinical dentistry. Chicago, Quintessence Publ Co., 1985. 175-186.
4. Rangert B, Jemt T, Jorneus L. Forces and moments on Brånemark implants. Int J Oral Maxillofac Implants 1989;4:241-7.
5. Sones AD. Complications with osseointegrated implants. J Prosthet Dent 1989; 62:581-5.

6. Skalak R. Biomechanical considerations in osseointegrated prostheses. *J Prosthet Dent* 1983;49:843-8.
7. Zarb GA, Schmitt A. The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants : The Toronto Study. Part III : Problems and complications encountered. *J Prosthet Dent* 1990;64: 185-94.
8. Lekholm U, Van Steenberghe D, Herrmann I, et al. Partially edentulous jaws : A prospective 5-year multicenter study. *Int J Oral Maxillofac implants* 1994;9:627-35.
9. Worthington P, Bolender CL, Taylor TD. The Swedish system of osseointegrated implants : problems and complications encountered during a 4-year trial period. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1987;2:77-84.
10. Adell R et al. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of edentulous jaw. *Int J Oral Surg* 1981;10:387-416.
11. Wee AG, Aquilino SA, Schneider RL. Strategies to achieve fit implant prosthodontics : A review of the literature *Int J Prosthodont* 1999;12:167-178.
12. Harris IR, Wickens JL. A Comparison of the fit of spark-eroded titanium copings and cast gold alloy copings. *Int J Prosthodont* 1994;7:348-355.
13. Schmitt SM, Chance DA, Cronin RJ. Refining cast implant-retained restorations by electrical discharge machining. *J Prosthet Dent* 1995;73:280-3.
14. Jeong CM. Introduction of spark erosion. *J Korean Acad Prosthodont* 2000;3:402-411.
15. Kan JYK, Rungcharassaeng K, Bohsali K et al. Clinical methods for evaluating implant framework fit. *J Prosthet Dent* 1999;81:7-13.
16. Ziebert GJ, Hurtado A, Glapa C, Schiffleger BE. Accuracy of one-piece castings, pre-ceramic and postceramic soldering. *J Prosthet Dent* 1986;55:312-7.
17. 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.
18. Jemt T, Rubenstein JE, Carlsson L, Lang BRJ. Measuring fit at the implant prosthodontic interface. *J Prosthet Dent* 1996;75:314-25.
19. Lim JS, Jeon YC, Jeong CM. Three dimensional comparison of framework displacements joined by various connection techniques. *J Korean Acad Prosthodont* 1999;37:358-374.
20. Nicholls JI. The measurement of distortion : Theoretical considerations. *J Prosthet Dent* 1977;37:578-86.
21. Nicholls JI. The measurement of distortion : Mathematical consideration. *J Prosthet Dent* 1978;39:339-43.
22. Nicholls JI. The measurement of distortion : Concluding remarks. *J Prosthet Dent* 1980;43:218-23.
23. Van Roekel NB. Electrical discharge machining in dentistry. *Int J Prosthodont* 1992;5:114-121.
24. Rübelling G. Electroerosion in dental technology-possibilities and limits. [in German] *Dental Labor (Munch)* 1982;30:1697-702.
25. Van Roekel NB. Prosthesis fabrication using electrical discharge machining. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1992;7:56-61.
26. Ercoli C, Graser GN, Tallents RH, et al. Alternative procedure for making a metal superstructure in a milled bar implant-supported overdenture. *J Prosthet Dent* 1998;80:253-8.
27. Weber H, Frank G. Spark erosion proce-

- ture : A method for extensive combined fixed and removable prosthodontic care. *J Prosthet Dent* 1993;69:222-7.
28. Linehan AD, Windeler AS. Passive fit of implant-retained prosthetic superstructures improved by electrical discharge machining *J Prosthodont* 1994;3:88-95.
 29. Eisenmann E, Rübeling G. The monometallic, strain-free restoration on implants. *QDT* 1999;128-138.
 30. Rübeling G. New techniques in spark erosion : The solution to an accurately fitting screw-retained implant restoration. *Quintessence Int* 1999;30:38-48.
 31. Toljanic JA, Antoniou D, Clark RS, et al. A longitudinal clinical assessment of spark erosion technology in implant retained overdenture prostheses: A preliminary report. *J Prosthet Dent* 1997;78:490-5.
 32. Schmitt SM, Chance DA. Fabrication of titanium implant-retained restorations with nontraditional machining techniques. *Int J Prosthodont* 1995;8:332-6.
 33. Andersson M, Carlsson L, Persson M, Bergman et al. Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system. *J Prosthet Dent* 1996;76:187-93.
 34. Jemt T, Lekholm U. Measurements of bone and framework deformations induced by misfit of implant superstructures. A pilot study in rabbits. *Clin Oral Implants Res* 1998;9:272-280.
 35. Jemt T, Book K, Lie A, Borjesson T. Mucosal topography around implants in the edentulous upper jaw. Photogrammetric three-dimensional measurements of the effect of replacement of removable prosthesis with a fixed prosthesis. *Clin Oral Implants Res* 1994;5:220-228.
 36. Mulcahy C, Sherriff M, Walter JD, Fenlon MR. Measurement of misfit at the implant-prosthesis interface : An experimental method using a coordinate measuring machine. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:111-118.
 37. Riedy SJ, Lang BR, Lang BE. Fit of implant frameworks fabricated by different techniques. *J Prosthet Dent* 1997;78:596-604.
 38. Tan KB, Rubenstein JE, Nicholls JJ, Yuodelis RA. Three-dimensional analysis of the casting accuracy of one-piece, osseointegrated implant-retained prostheses. *Int J Prosthodont* 1993;6:346-63.
 39. Lie A, Jemt T. Photogrammetric measurements of implant positions. *Clin Oral Implants Res* 1994;5:1-7.
 40. Jemt T, Back T, Petersson A. Precision of CNC-milled titanium frameworks for implant treatment in the edentulous jaw. *Int J Prosthodont* 1999;12:209-215.
 41. Jemt T. Failures and complications in 391 consecutively inserted fixed prostheses supported by Brånemark implant in the edentulous jaw: a study of treatment from the time of prostheses placement to the first annual check up. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1991;6:270-6.
 42. Jemt T. In vivo measurements of precision of fit involving implant-supported prostheses in the edentulous jaw. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:151-158.

Reprint request to:

Yung-Soo Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.
 Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University
 28, Yeongeon-Dong, Chongro-Gu, Seoul, 110-768, Korea
 Tel. 82-2-760-2661 Fax. 82-2-760-3860

ABSTRACT

A STUDY ON THE FIT OF IMPLANT-RETAINED PROSTHESES USING ELECTRIC DISCHARGE MACHINING

Eu-Taek Han, D.D.S., M.S.D., Yung-Soo Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D. M.Sc.(O.S.U.)
Chang-Whe Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Jae-Ho Yang, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University

An absolutely passive fit at the interface with the superstructure and the abutment cylinders is need for implant longevity. In this study, a method of cast framework correction using spark erosion technology was evaluated.

Electric discharge machining(EDM) is a process that uses electrical discharges, or sparks, to machine metal. The surface being machined is bombared with high-intensity electrical energy pulses that gradually melt away the stock until the desired configuration is obtained.

Master model was fabricated by using metal block impression analogue, which fixed 5 Brånemark squared impression coping in an arc shaped metal block. Then framework using 4mm standard gold cylinder and type IV gold alloy was fabricated.

In order to measure the fit of the framework, we used both contact and noncontact coordinate measurement machine and data was processed by computer program.

After superimposition of gold framework and master model numeric image data, the distances between gold cylinder bearing surfaces and abutment replica bearing surfaces, and the angle deviations between gold cylinder and abutment replica centroid points were calculated.

The results were as follows :

1. The total mean distance ($p < 0.01$) and standard deviation ($p < 0.001$) between the gold cylinders and abutment bearing surfaces were significantly decreased after EDM .
2. The total mean of maximum distances was significantly decreased after EDM ($p < 0.05$).
3. After EDM, the mean angle deviation between centroid points was decreased.

Key Words : Implant, Fit, Electric discharge machining, Coordinate measurement machine