

치과용 주조 합금의 방전가공에 따른 표면 성분 변화

장 용 철, 이 명 곤*

월드치과기공소, 부산가톨릭대학교 생명과학대학원 치기공학과*

Elemental alteration of the surface of dental casting alloys induced by electro discharge machining

Yong-Chul Jang, Myung-Kon Lee*

World Dental Lab.

Dept. of Dental Laboratory Science, Graduate School of Life Science, Catholic University of Pusan*

[Abstract]

Passive fitting of meso-structure and super-structures is a predominant requirement for the longevity and clinical success of osseointegrated dental implants. However, precision and passive fitting has been unpredictable with conventional methods of casting as well as for corrective techniques. Alternative to conventional techniques, electro discharge machining(EDM) is an advanced method introduced to dental technology to improve the passive fitting of implant prosthesis. In this technique material is removed by melting and vaporization in electric sparks.

Regarding the efficacy of EDM, the application of this technique induces severe surface morphological and elemental alterations due to the high temperatures developed during machining, which vary between 10,000~20,000 °C.

The aim of this study was to investigate the morphological and elemental alterations induced by EDM process of casting dental gold alloy and non-precious alloy used for the production of implant-supported prosthesis.

A conventional clinical dental casting alloys were used for experimental specimens patterns, which were divided in three groups, high fineness gold alloy(Au 75%, HG group), low fineness gold alloy(Au 55%, LG group) and non-precious metal alloy(Ni-Cr, NP group). The UCLA type plastic abutment patterns were invested with conventional investment material and were cast in a centrifugal casting machine.

Castings were sandblasted with 50 μ m Al₂O₃. One casting specimen of each group was polished by conventional finishing(HGCON, LGCON, NPCON) and one specimen of each group was subjected to EDM in a system using Cu electrodes, kerosene as dielectric fluid in 10 min for gold alloy and 20 min for Ni-Cr alloy(HGEDM, LGEDM, NOEDM). The surface morphology of all specimens was studied under an energy dispersive X-ray spectrometer (EDS).

The quantitative results from EDS analysis are presented on the HGEDM and LGEDM specimens a significant increase in C and Cu concentrations was found after EDM finishing. The different result was documented for C on the NPEDM with a significant uptake of O after EDM finishing, whereas Al, Si showed a significant decrease in their concentrations.

교신저자	성명	이 명 곤	전화	010-4818-0591	E-mail	mkleee@cup.ac.kr
	주소	부산시 금정구 부곡동 9, 부산가톨릭대학교 치기공학과				

EDS analysis showed a serious uptake of C and Cu after the EDM procedure in the alloys studied. The C uptake after the EDM process is a common finding and it is attributed to the decomposition of the dielectric fluid in the plasma column, probably due to the development of extremely high temperatures. The Cu uptake is readily explained from the decomposition of Cu electrodes, something which is also a common finding after the EDM procedure.

However, all the aforementioned mechanisms require further research. The clinical implication of these findings is related with the biological and corrosion resistance of surfaces prepared by the EDM process.

○Key word : Electrical discharge machining(EDM), Dental casting alloy, Elemental alteration

I. 서 론

Spark erosion으로 불리는 방전가공 (electrical discharge machining, EDM)은 금속의 미세 가공 (micro-machining) 산업 분야에서 사용되어온 술식으로 전극과 가공물 간의 방전을 통하여 금속 재료를 침식시켜 원하는 형상을 획득하는 과정으로 정의할 수 있다 (정영훈 등, 2006).

방전가공의 장점은 열적 가공으로 금속의 경도에 영향을 받지 않으며 비접촉가공으로 작업체의 응력이나 변형력 전달이 없으며, 가공 후 매끄러운 표면을 제공할 수 있다. 또한 기계적인 힘이 가해지지 않기 때문에 얇은 작업체를 변형없이 가공할 수 있으며, 길고 가는 절삭이 가능하며 가공 정확도가 우수한 특성을 갖고 있으나, 고가의 장비가 필요하며 가공 과정 중에 세심한 주의가 필요한 단점도 갖고 있다 (정영훈 등, 2006; 정창모, 2000; Van Roekel 등, 1992).

현재 치과기공 분야에서도 방전가공이 응용되고 있으며 대상으로는 attachment 제작, hybrid telescopic crown 제작, Ti-ceramic crown 제작, 하부구조물과 상부구조물의 적합도 수정, 임플란트 보철물의 적합도 수정 등을 들 수 있다 (정창모, 2000; Andersson 등, 1996; Contreras 등, 2002; Evans, 1997; Romero 등, 2000).

최근 활발하게 시술되고 있는 치과 임플란트 보철물의 내구성 증가와 치료 성공을 위해서는 하부 지지구조와 상부 보철물의 수동적(passive)이고 정확한 적합이 요구된다. 임상에서 무치악 또는 부분 무치악 결손 환자에게 이용되는 임플란트 지지 보철물 제작의 경우 결손부가 많은 long-span 형, bar 형 상부구조는 매몰 주조 과정에서

오차가 발생되어 임플란트 지대주와 보철물의 금실런더가 정확하게 적합되지 않은 경우가 많이 발생한다. 이러한 불량한 적합 상태는 금나사의 파절과 풀림, 보철물의 변형과 파절, 임플란트의 파손 등을 발생시킬 수 있으며 심한 경우 지지골의 손상까지 초래할 수 있다 (한의택 등, 2001).

임플란트 보철물의 정확하고 수동적인 양호한 적합을 얻기 위해서 상부 금속 주조체를 절단 후 가스 납착, laser welding 또는 cast connection 등의 방법을 사용하고 있으나 임플란트 지지골에 압축응력, 인장응력을 일으키지 않는 완벽한 적합을 얻지 못하고 있으며 일체형 주조물에 비하여 연결강도가 낮고 이종의 금속간 전기 화학적 반응을 야기될 수 있다 (Andersson 등, 1996).

이러한 문제점을 줄이고 임플란트 보철물의 정확한 적합을 얻을 수 있는 방법들이 고안되었는데 이는 CAD/CAM milling, gold electro forming, 방전가공법 등을 들 수 있다.

이중 방전가공법은 넓은 범위의 적용과 우수한 적합성의 장점을 갖고 있어 근래 사용 빈도가 늘어나고 있으나 방전가공법은 전극과 작업체 간에 고전압의 방전을 통한 고온 발생으로 금속의 국소 용융과 비산으로 표면을 절삭하는 방식으로 이때 발생하는 고온에 의해 금속체 표면의 변화가 야기되고 있다 (Chen 등, 1999; Dewes 등 2003; Simao, 2003; Wang 등, 2002; Wang 등, 2003; Zinelis, 2007). 현재까지 방전가공에 따른 적합도 증진을 위한 연구는 많이 발표되었지만 방전가공 과정에서 발생하는 고열과 이에 따른 금속 보철물 주조체의 표면 특성과 성분의 변화에 대한 연구가 매우 부족한 상태라고 할 수 있다.

본 연구는 금속 치과보철물 제작에 이용되는 방전가공법에 대하여 임상에서 많이 사용하는 고순도, 저순도 치과용 금합금과 치과용 비귀금속 합금을 대상으로 방전가공에 따른 가공 금속 구조물의 표면 성분 변화를 측정하여 방전가공법 사용에 대한 물성적 자료를 제공하고자 수행하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

Table 1. Chemical composition of precious metal and non-precious metal (Unit. wt%)

Element	Au	Ag	Pt	Ni	Cr	M●	Al	Be
Type III gold alloy	75.0	13.7	3.0					
Type IV gold alloy	55.0	25.0	4.0					
Rexillium V				74.0	14.0	9.0	2.5	2.0

2. 실험방법

1) 시편제작

실험에 사용된 시편 형태는 치과용 임플란트 상부구조인 UCLA 지대주를 사용하였으며, 이는 치과 임상에서 방전가공이 가장 많이 사용되는 술식인 임플란트 보철물의 적합성 개선을 위한 과정을 모방한 것이다. 또한 방전가공 과정과 관찰의 편의성을 위하여 wide type을 선택하여 plastic 지대주(UCLA, Osstem implant, Korea)를 사용하였다. 시편 크기는 직경 5mm이며 길이는 지대주 원형은 10mm이나 실험에 필요한 최소한 크기로 적용하여 5mm로 잘라 사용하였으며, 이 지대주는 non-hexed type 내부 구조를 갖고 있다(Fig. 1).

plastic 지대주를 통법에 의한 lost wax법을 사용하여 매몰하여 3종의 치과용 합금으로 원심주조법으로 주조체를 제작하였다. 주조 후 대기 중에서 서냉시킨 후 사용매몰재 제거와 산화막 제거를 위하여 50 μ m의 산화알루미늄으로 sandblasting 처리를 하였다. 그 후 표면의 이물질 제거를 위하여 고압스팀 세척과 초음파 세척을 5분간 실시하였다. 시편은 금속 종류별 방전가공 미시행 대조군

방전가공에 의한 금속 보철물의 표면 변화를 관찰하기 위하여 치과용 임플란트의 상부구조인 지대주(UCLA abutment)를 시편으로 사용하였다. 실험용 지대주는 임상에서 많이 사용하고 있는 3종의 치과용 합금을 이용하여 제작하였다. 사용된 합금은 귀금속 합금인 Au 75wt% (Type III, Heesung engelhard, Korea)과 Au 55wt% 합금(Type IV, Heesung engelhard, Korea) 그리고 비귀금속 합금인 Ni-Cr 합금(Rexillium V, Pentron, USA)을 사용하였으며 각 금속의 조성비는 Table 1에 제시하였다.

3개와 방전가공 시행 실험군 3개로 구성된 총 6개 시편을 제작하였다(Fig. 1).

시편의 구성은 고순도 금합금의 통상적인 연마 시편(HGCON), 저순도 금합금의 통상 연마 시편(LGCON), 비귀금속 합금의 통상 연마 시편(NPCON)과 고순도 금합금 시편의 10분 방전가공 시행 시편(HGEDM)과 저순도 금합금의 10분 방전가공 시편(LGEDM), 비귀금속 합금의 20분 방전가공 시행 시편(NPEDM)으로 6종이었으며 여기서 금합금에 적용한 10분간 방전가공과 비귀금속합금의 20분간 방전가공 시간은 임상 술식을 재현한 것이다.

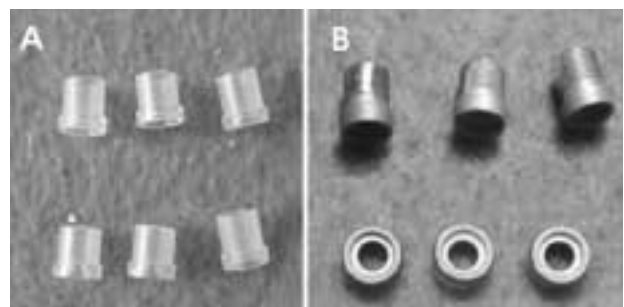


Fig. 1. UCLA plastic patterns(A) and 3 type metal UCLA specimens(B).

2) 방전가공

(1) 방전가공용 모형 제작

방전가공에 의한 금속 보철물의 표면 변화를 관찰하기 위하여 실험군 금속 주조체 시편에 방전가공을 시행하였으며, 방전가공 장비는 SAE-2000(SAE GmbH, Germany)을 이용하였다.

방전가공용 모형은 경석고를 이용하여 각 군마다 lab brass analogue를 삽입하여 제작하였다. 이 lab analogue에 impression coping을 연결 고정하고 이 상태로 pick up 인상을 채득하였다. 인상체를 분리한 후 impression coping에 방전용 lab analogue를 연결 고정하고, 각 analogue에 구리선을 연결한 다음 인상체에 초경석고를 주입하여 방전가공용 모형을 제작하였다(Fig. 2).

그 후 인상체에서 impression coping을 제거하여 모형과 분리시키고, 모형에 이상이 없음을 확인하고 방전용 lab analogue를 전용 screw driver를 이용하여 brass analogue에서 분리하였다. 그리고 모형에 삽입되어 있는 brass analogue에 UCLA type 지대주용 electrode를 driver로 체결하여 방전가공용 모형을 제작하였다. 여기서 electrode는 brass analogue와 구리선으로 연결되어 전류를 공급받게 되며, 이러한 모형 제작법은 통상 방전가공용 초과보철물 제작 시 이용되는 방법이다(Fig. 2).

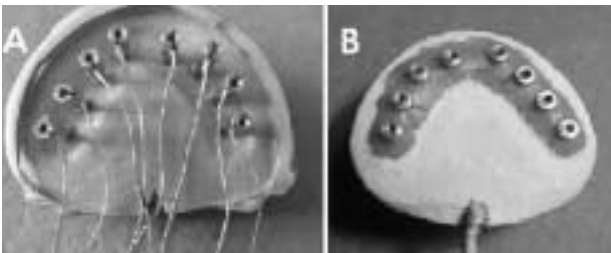


Fig. 2. Lab analogue on the impression coping attached copper wire(A), UCLA type abutment electrode positioned to EDM model(B).

(2) 방전가공

모형에 고정된 electrode에 시편인 금속 지대주를 위치시키고 이동이 없도록 sticky wax로 고정하였다. 금속 지대주는 방전가공기의 machining unit에 무수축 패턴 레진으로 연결 고정하고, 모형의 electrode의 구리선에 방전가공기의 (+) 전극을 연결하고 피가공물인 금속 지대주 시편에 (-) 전극을 연결하였다. 이때 방전가공 과정은

각 금속별 시편마다 별도로 시행하였으며 이는 다수의 시편을 동시에 가공할 때 발생할 수 있는 영향을 방지하기 위해서이다.

다음 준비된 전극 모형과 시편을 machining unit의 유전액 bath 안에 고정하였다. 유전액은 통상적으로 이용되는 등유(kerosene)를 사용하였으며, 방전가공기의 조정은 90kV 전압과 1.5 A의 전류를 사용하였다. 전류량은 금합금은 1 A, 비귀금속 합금 1.5 A를 하는 경우도 있으나 본 실험에서는 회사의 매뉴얼에 따라 1.5 A를 사용하였다.

방전가공 과정은 먼저 유전액 분사를 시행하고 전류를 공급하여 방전 가공을 시행하였다. 이때 세부적인 조정은 제작물의 종류에 따라 자동으로 조절되며 유전액 분사 속도도 자동 조절로 사용하였고, 방전가공 되는 동안 계속 주시하여 이상이 없는 것을 확인하였다.

3) 표면 성분 변화 관찰

대조군의 3종 시편과는 달리 방전가공 시행 실험군 3종의 금속 주조체 시편은 고전압에 의한 고온으로 가공되어 표면에 부산물이 생성되게 된다. 이러한 표면 부산물을 관찰하기 위하여 시편의 가공부의 성분 변화를 관찰하였다. 성분변화 관찰은 에너지분산 X-선분광기(EDS, Energy Dispersive X-ray Spectrometer, Oxford, U.K.)의 면 분석을 통하여 표면 성분을 정성적으로 관찰하였다.

III. 실험결과 및 고찰

방전가공으로 발생된 표면 성분 변화를 EDS로 관찰한 결과 Table 2와 같은 정성적인 성분 결과가 측정되었다. 본 실험은 동일 시편에 대한 방전가공 전후 비교가 아니고 대조군 시편과 실험군 시편을 별도로 제작하여 성분 분석을 하였으므로 시편간의 제작과정에서의 오차가 있을 수 있어 분석값의 순수 비교는 한계를 갖고 있다. 대조군과 실험군 시편간의 방전가공 후 표면 성분 변화에서는 방전가공을 실시한 시편에서 C 성분 변화가 가장 많이 측정되었으며, 귀금속 시편군에서는 Cu 성분의 증가가 높게 나타났다(장용철, 2008).

Table 2. Chemical composition of surface of all specimens (Unit, at%)

	C	O	Al	Si	Cu	Ag	Pt	Au	Ni	Cr	Mo
HGCON	45.86	38.48	3.95	1.29	2.72	3.38	0.0	4.32			
HGEDM	64.02	17.37	0.27	0.54	4.70	2.92	0.57	9.61			
LGCON	42.47	40.56	4.14	2.44	1.74	1.82	0.42	6.41			
LGEDM	74.23	13.43	0.82	0.42	4.18	2.91	0.20	3.81			
NPCON	62.02	0.0	5.37	1.74					24.09	5.31	1.48
NPEDM	68.70	19.91	0.79	0.25					6.96	3.04	0.35

치과 임플란트 보철물은 내구성 확보를 위하여 하부 지지구조부와 상부 보철물의 수동적인 정확한 적합을 요구하고 있다. 적합성이 부족한 경우에는 구강 내에서 이루어지는 저작에 의한 동하중과 정하중으로 발생하는 응력의 전달 체계인 임플란트 연결 구조부 간에 미세 거동(micro motion)의 부조화가 발생되어 나사 풀림, 파절, 보철물의 변형과 파절, 임플란트 지지골의 손상까지 진행될 수 있다(한의택 등, 2001).

이러한 문제점을 극복하고 보철물의 내구성을 증가시키기 위한 노력으로 CAD/CAM milling, electro forming, 방전가공(EDM) 등의 방법이 고안되었으며 방전가공법은 가공물의 변형과 응력을 발생시키지 않으며 금속 재료의 경도에 영향을 주지 않으며 가공 정확도가 우수한 특성을 갖고 있어 치과 보철물 제작, 보철물의 적합도 수정, 임플란트 구조부의 적합도 수정 등의 목적으로 치과기공 분야에 응용되어 활발하게 사용되고 있다(정창모, 2000; 한의택 등, 2001). 이러한 방전가공법의 장점인 적합도 증진 효과에 관한 연구는 많이 이루어지고 있으며 그 개선 효과가 모든 연구에서 분명하게 나타나고 있다(한의택 등, 2001; Adersson 등, 1996; Contreras 등, 2002; Evans, 1997; Romero 등, 2000; Satori 등, 2004).

그러나 방전가공법은 전극과 금속 구조물 간의 높은 전압의 통전에서 발생하는 플라즈마로 가공물의 국소영역에 높은 온도를 가하여 국소부의 금속 재료를 용융 비산시켜 제거하는 방법으로 이때 국소부에 가해지는 10,000~20,000°C의 고열은 금속 구조물의 표면 구조와 성분 변화를 야기시킬 수 있다. 또한 유전액 분사 상황에서 방전가공이 되어야 하는데 이때 유전액의 열 분해로 인한 석출되는 성분과 전극의 방전열에 의해 분해된 원소들이 금

속 구조물에 침착되어 표면 성분을 변화시키게 되며 이러한 타 원소 침착은 구강 내 고정시 타액과 음식물의 산성도에 따라 부식될 수 있으며, 이는 금속 구조물의 내구성과 생물학적 유해성이 발생할 수 있다(Zinelis, 2007).

본 실험에서 측정된 결과는 각 시편의 표면 성분 변화에 있어서는 고순도 금합금으로 제작한 HG 시편군에서 탄소 성분이 많이 나타났다. 통상 연마 과정 시행 HGCON 시편은 45.86 at%이었으나 10분 방전가공 시편 HGEDM 시편에서는 탄소 양이 64.02 at%로 나타났으며, 이는 Zinelis (2007)의 58% Au-Ag 합금 시편 실험에서 통상 연마 시편 표면의 탄소 함유량은 3.4%, 방전가공 시편 6.3%에 비해 매우 높은 증가 결과를 보이고 있었다(Chen 등, 1999; Dewes 등, 2003; Simao 등, 2003; Theisen and Schuermann, 2004; Wang 등, 2003).

저순도 금합금 LG 시편군에서는 통상 연마 시편의 42.47 at% 탄소 함유량이 10분 방전가공한 LGEDM은 74.23 at%로 높게 나타났다.

비귀금속 합금 NP 시편군에서는 통상 연마 시편의 62.02 at%의 탄소 함유량이 NPEDM 시편 68.70 at%로 약간 높게 나타났으며, Zinelis(2007)의 Cr-Co 합금 방전가공 결과에서는 5.54% 증가로 나타났으며, 탄소의 발생 침착은 유전액이 방전의 고열로 인하여 성분 분해되어 금속 구조물에 침착되는 것으로 판단되며 이는 유전액 분사 환경에서 더 많은 탄소 침착이 된 결과로도 알 수 있다.

또한 금합금 시편에서 방전가공 시편에서 높게 나타난 성분은 구리 원소이었는데 HG 시편군에서는 HGCON이 2.72 at%에서 HGEDM 4.70 at%, LG 시편군에서는 LGCON 시편 1.74 at%에서 LGEDM 4.18 at%로 나타났으며, NP 시편군에서는 석출되지 않았다.

Zenelis(2007)의 연구에서는 금합금 시편에서는 4% 증가, Cr-Co 시편에서는 통상 연마 시편에서는 성분이 없었으나 방전가공 후 7.3% 증가로 나타났다. 본 연구와는 실험 시편과 환경이 달라 직접 비교는 곤란하지만 다소 차이가 나는 결과를 보이고 있다. 이러한 구리 성분의 증가는 구리로 제작된 전극이 방전가공에서 발생하는 열로 인해 분해되어 금속 가공물 표면에 침착되는 것으로 판단되며 이러한 구리 성분은 구강 내 타액에도 반응되어 금속 가공물의 내부식성과 생물학적 환경의 안정성을 저해하게 된다고 할 수 있다. 따라서 이렇게 발생된 구리 성분의 구강 내 조건에서의 부식 정도와 안정성을 보다 상세하게 연구 분석이 필요하다고 생각된다(Dewes 등, 2003; Simao 등, 2003; Tsai 등, 2003; Wang 등, 2002).

치과 보철물 제작에 이용되는 방전가공법은 적용 범위의 한계는 있지만 그 유용성이 인정되고 있으며 근래 더욱 요구되는 정밀 보철에서 그 효과가 충분한 것으로 판단된다. 그러나 방전가공술의 보다 많은 임상적 활용을 위해서는 방전가공 과정의 생물학적 안정성에 대한 많은 연구가 보완되어야 하며 특히 전극과 유전액에 의한 금속 가공물의 영향과 인체에 미치는 영향에 대한 보다 깊은 연구와 분석이 필요하다고 생각된다. 본 연구에서 파악된 방전가공 후의 탄소와 구리의 증가에 따른 생물학적 안정성과 내구성과 오염성에 대해 미치는 영향에 대한 보다 깊고 정밀한 연구가 필요하다고 판단된다.

IV. 결 론

치과 임플란트 보철물의 내구성과 임상적 성공을 위해서는 하부 구조물과 상부구조물의 적합성이 주요 사항으로 요구된다. 방전가공법은 다른 적합성 수정방법에 비교하여 모든 치과용 금속 재료에 대하여 적합성이 가장 우수하며 비틀림 응력 등을 최소화하는 유용성이 있다고 제시되고 있다. 그러나 이 방법의 적용에 있어 방전가공 중에 발생하는 10,000~20,000℃의 고열로 인한 표면 구조와 성분 변화의 문제점을 갖고 있다.

본 연구는 치과용 임플란트 보철물에서 사용하는 금합금과 비귀금속 합금 금속 가공물에 대하여 방전가공에 따

른 금속보철물의 표면 성분 변화에 대하여 조사하였다.

임상적으로 많이 사용하는 UCLA 플라스틱 지대주를 Au 75% 금합금 시편 HG군과 Au 55% 금합금 시편 LG군, Ni-Cr 비귀금속 합금 시편 NP군을 제작하였다. 각 군에서 1 개 시편은 통상적인 절삭 연마 과정으로 제작하였고 (HGCON, LGCON, NPCON), 유전액 분사 환경에서 10분간 방전가공한 시편 HGEDM, LGEDM 시편과 유전액 환경에서 20분간 방전가공한 NPEDM 시편을 제작하고 모든 시편은 EDS로 표면 성분 변화를 관찰하였다.

EDS 분석 결과는 방전가공한 HGEDM과 LGEDM 시편에서는 탄소와 구리 성분이 높게 나타났으며, NPEDM은 산소 성분이 높게 나타났으며 Al, Si 성분이 낮게 나타났다. 방전가공 시편의 탄소 성분이 높게 나타난 것은 유전액의 열 분해에 기인하는 것이며 구리 성분이 많은 것은 구리 전극의 분해 침착으로 파악된다. 방전가공 과정의 효과적 임상적 적용을 위해서는 가공 시 발생할 수 있는 금속 구조체 표면의 내부식성과 생물학적 안정성에 대해서 충분한 연구 분석이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 정영훈, 민병권, 이상조. 미세 방전/전해 가공 및 장치. 기계저널, 46(1), 40-45, 2006.
- 장용철. 치과용 주조 합금의 방전가공 펄스 지속 시간에 따른 표면 구조와 성분 변화 연구. 부산가톨릭대학교 생명과학대학원 석사논문, 2008.
- 정창모. Introduction of spark erosion. 대한치과보철학회지, 38(4), 402-410, 2000.
- 특허청. 미세특수가공기술 (방전 · 전해 · 초음파가공). 2004 신기술동향조사 보고서, 67-99, 2004.
- 한의택, 김영수, 김창희, 양재호. 전기방전가공법을 이용한 임플란트 보철물의 적합도 연구. 대한치과보철학회지, 39(1), 2001.
- Andersson M, Carlsson L, Persson M, Bergman B. Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system. J Prosthet Dent, 76(2), 187-193, 1996.

- Chen SL, Yan BH, Huang FY. Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, 87, 107-111, 1999.
- Contreras EF, Henriques GE, Giolo SR, Nobilo MA. Fit of cast commercially pure titanium and Ti-6Al-4V alloy crowns before and after marginal refinement by electrical discharge machining. *J Prosthet Dent*, 88(5), 467-472, 2002.
- Dewes R, Aspinwall D, Simao J, Lee HG. Electrical discharge machining and surface alloying—the process, parameters and state of play. *Mater World*, 11, 16-18, 2003.
- Evans DB. Correcting the fit of implant-retained restorations by electric discharge machining. *J Prosthet Dent*, 77(2), 212-215, 1997.
- Romero GG, Engelmeier R, Powers JM, Canterbury AA. Accuracy of three corrective techniques for implant bar fabrication. *J Prosthet Dent*, 84(6), 602-607, 2000.
- Sartori IA, Ribeiro RF, Francischone CE, de Mattos Mda G. In vitro comparative analysis of the fit of gold alloy or commercially pure titanium implant-supported prostheses before and after electroerosion. *J Prosthet Dent*, 92(2), 132-138, 2004.
- Simao J, Lee HG, Aspinwall DK, Dewes RC, Aspinwall EM. Workpiece surface modification using electrical discharge machining. *Int J of Mach Tools Manuf*, 43(2), 121-128, 2003.
- Theisen W, Schuermann A. Electro discharge machining of nickel-titanium shape memory alloys. *Mater Sci Eng A*, 378, 200-204, 2004.
- Tsai HC, Yan BH, Huang FY. EDM performance of Cr/Cu-based composite electrodes. *Int J Mach Tools Manuf*, 43, 245-252, 2003.
- Van Roekel NB. Electrical discharge machining in dentistry. *Int J Prosthodont*, 5(2), 114-121, 1992.
- Wang ZL, Fang Y, Wu PN, Zhao WS. Surface modification process electrical discharge machining with a Ti powder green compact electrode. *J Mater Process Technol*, 129, 139-142, 2002.
- Wang ZL, Lee HG, Aspinwall DK, Dewes RC, Aspinwall EM. Workpiece surface modification using electrical discharge machining. *Int J Mach Tools Manuf*, 43, 121-128, 2003.
- Zinelis S. Surface and elemental alterations of dental alloys induced by electro discharge machining(EDM). *Dental Materials*, 23(5), 601-607, 2007.