임플란트 구성요소의 파절면에 관한 주사전자현미경적 연구 : Part II - 임플란트 유지나사

강릉원주대학교 치과대학
치과보철학교실 및 구강과학연구소
임광길*·김대곤·조리라·박찬진

보철물의 실패는 파절로 인해 다수 발생하게 되지만 파절 발생시 그 원인을 파악하는 것은 어렵다. 보철물의 실패를 예방하고 예후를 예측하기 위해 보철물의 원인을 분석하는 것이 중요하며, 원인을 밝히기 위해 파절면 분석을 시행하게 된다. 파절면 분석은 파절면 뿐 아니라 주위 환경(응력 상황)에 대한 분석이 동반되며, 이를 이용하여 균열 진행, 파절 양상, 파절 원인 등을 파악하게 된다. 이 연구의 목적은 임상적으로 기능 시 파절된 임플란트 유지나사의 파절면 분석을 시행하여 파절 기전 및 파절 원인(하중 양상)을 밝히는 것이다. 파절된 임플란트 유지나사는 3년간 강릉-원주 대학교에 임플란트 유지나사의 파절을 주소로 내원한 환자를 대상으로 수집하였다. 먼저 임상 및 방사선 사진 분석을 시행하였으며, 시편 세척 과정을 거쳐 주사 전자 현미경을 이용한 파절면 분석을 시행하였다. 임플란트 파절면 분석 시 피로 줄무늬, 톱니바퀴 모양, 벽개 파절, 딤플 파절 등의 파절 지표를 통해 제작 금속, 파절 시 하중상태에 따른 각기 다른 파절 양상을 관찰할 수 있었다.

주요어 : 임플란트 유지나사, 파절, 파절면분석
(**구강회복응용과학지** 2010:26(4):373~388)

서 론

기술의 발전에도 불구하고 다양한 분야에서 실패가 발생되지만 실패 발생 시 그 원인을 파악하는 것은 어렵다. 실패의 원인을 파악하고 실패의 재발을 예방하기 위해 실패 분석(failure analysis)을 시행하게 된다. 실패 분석이란 적절한 기능을 수행하는 데 구성 요소 또는 구조물 등이 실패한 원인을 조사하는 것으로서 적절한 교정을 시행하여 유사한 실패를 예방하는데 있다고 할 수 있다[1].

실패의 주된 원인 중 하나가 파절에 의한 실패이다. 파절 분석(fracture analysis)은 파절편의 분석 뿐 아니라 파절의 원인이 되는 주변 상황에 대한 분석도 포함된다[2]. 파절 분석 중 파절면 분석(fractography)은 파절편 및 응력이 작용한 부위의 미세구조상에 나타나는 균열(crack)의 진행 등을 분석하는

교신저자 : **박찬진**
강원도 강릉시 강릉대학로120
강릉원주대학교 치과대학, 210-702
Tel : +82-33-640-3153
Fax : +82-33-640-3113
E-mail : doctorcj@gwnu.ac.kr
원고접수일 : 2010년 06월 25일
원고수정일 : 2010년 11월 20일
원고채택일 : 2010년 12월 25일

방법으로 파절면의 특징을 관찰함으로써 균열기시점, 진행방향, 하중 상태, 재료의 결함 등을 파악하게 된다. 즉, 파절면 분석의 목적은 파절면의 파절 특징을 관찰하여 파절 원인과 파절의 기본적인 과정을 이해하는데 있다고 하겠다[3].

파절된 부분의 파절면 분석을 하는데 있어 중요한 기구가 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)이다. 주사전자현미경은 표면을 분석할 수 있는 능력을 지닌 분석 도구로서 파절면을 저배율에서 고배율까지 넓은 범위의 배율에서 높은 해상도로 분석할 수 있는 장점을 지녀 파절면 분석에 많이 사용되고 있다[3].

치과분야의 실패에 있어서도 파절에 의한 다수의 실패가 발생된다. 앞에서 언급한 바와 같이 파절된 보철물의 파절면을 분석함으로써 파절의 원인 및 파절 기전을 알 수 있지만 보철물에 사용되는 치과 재료에서는 파절면의 파절 지표가 불명확하여 파절면 분석은 거의 시행되고 있지 않으며, 몇몇의 논문에서만이 치과재료(치과용 도재[4-6], 코발트-크롬 합금[7-9], 레진[10-12] 등)에 대한 파절면 분석을 다루고 있을 뿐이다.

50년 전 Brånemark[13]이 치과용 임플란트의 개발 및 임상연구를 시행한 이후 임플란트 재료 및 임플란트 설계에 있어 많은 변화와 개발이 이루어져 최근에 검토된 논문에 의하면 임플란트는 식립 시기[1,4], 하중 시기[15], 수복물 형태[16,17]에 관계없이 90%이상의 성공률을 보이고 있다. 그렇지만 임플란트에서도 파절로 인한 실패가 발생되며, 특히 임플란트 유지나사에서 다수의 파절로 인한 실패 발생된다. 금나사(gold screw)의 파절은 Lekholm 등[18]의 연구에서 임플란트 치료 후 5년간 관찰 시 3%의 파절을 보였으며, Hemmings 등[19]의 연구에서 임플란트 치료 후 5년간 관찰 시 금나사의 파절은 6%, 지대주 나사(abutment screw)의 파절은 8%를 보였다. 또한 Goodacre 등[20]은 여러 논문을 검색한 결과 금나사의 파절은 1-19%, 지대주 나사의 파절은 0.5-8%을 보인다고 언급하였으며, 임플란트 유지나사 파절에 대해 Antheunis 등[21]은 교합력, 피로, 재료의 항복 강도, 응력 완화, 진동, 감쇠효과(damping effect)가 원인이 될 수 있으며, 이에 대한 고려가 필요하다고 언급하였다. Huang 등[22]은 하중에 따른 임플란트 유지나사의 파절 양상에 대한 생체 내 실험을 진행하여 하중 양상에 따른 파절면의 특징을 보인바 있으며, 그 외에도 임상적으로 파절된 임플란트 유지나사의 파절면을 분석하여 파절 양상과 원인에 대해 분석한 바 있다.[23-25] 이와 같이 파절면 분석을 통해 실패한 임플란트 및 유지 나사의 파절 양상 및 파절 원인을 분석할 수 있으며, 동일한 원인으로 인한 재발을 방지할 수 있다.

이번 연구의 목적은 임상적으로 실패한 임플란트 유지나사의 파절면 분석을 시행하여 파절 진행 및 파절 양상을 밝히고, 파절 양상과 원인(파절 시 하중조건)의 상관관계를 밝히는 것이다.

연구 재료 및 방법

1. 시편 수집

파절편의 수집은 강릉원주대학교 치과병원에서 2007-2009년(3년) 동안 임플란트 유지나사의 파절을 주소로 내원한 환자를 통해 이루어졌다. 일차적으로 임상과 방사선 사진 분석을 시행하였으며, 이후 손상되지 않은 임플란트 유지나사의 상부를 이용하여 파절면을 분석하였다. 총 8명을 대상으로 11개의 임플란트 유지나사를 수집할 수 있었다(Table I, Fig. 1).

2. 시편 준비와 파절면 분석을 위한 관찰

파절된 임플란트 유지나사 시편은 개별적으

Table I. Fractured implant retaining screw

Screw type	Number	Location	Fracture area
Gold screw	4	M_1, M_2	shank
Gold abutment screw	1	M_1	thread
Titanium screw	3	M_1	shank thread
Titanium abutment screw	3	PM_2, M_1	shank thread

*PM_2: second premolar, M_1: first molar, M_2: second molar



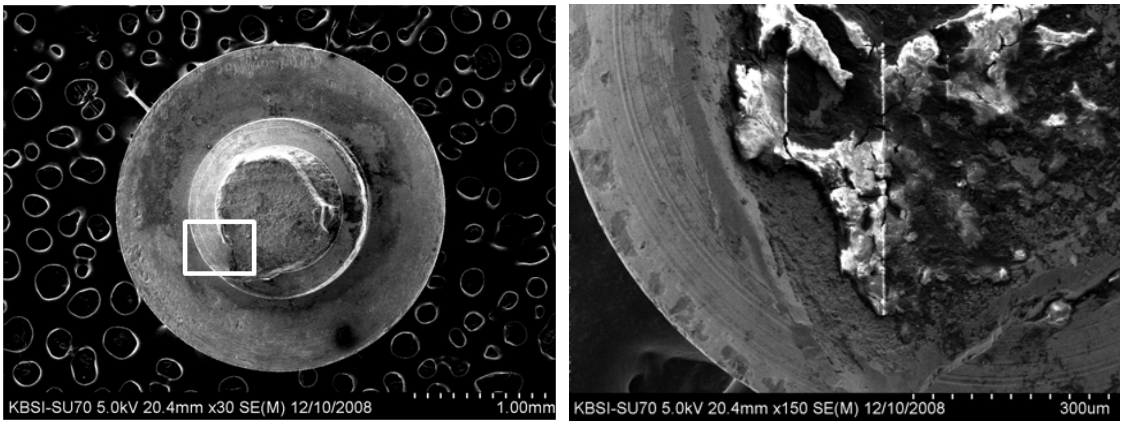
(a) (b)

Fig. 1. Fractured implant retaining screw. (a) Fractured screws on the shank area. (b) Fractured screws on the thread area.

로 밀폐 용기에 담아 건조기에 보관하였으며, 주사 전자 현미경을 이용하여 파절면 분석을 시행하기 직전 시편의 세척을 시행하였다. 먼저 시편을 물과 alconox (Al-conox Inc., White Plains, USA)를 혼합한 1% 혼합물이 담긴 유리 비커에 각각 담은 후 초음파 세척을 10분간 시행하였다. 초음파 세척 후 1분간 증류수로 세척하였으며, 시편을 메탄올이 담긴 유리 비커로 옮긴 후 추가적으로 초음파 세척을 5분간 시행하였다. 이후 시편의 파절면 분석을 위해 오시뮴(osmium)으로 코팅을 하였다. 오시뮴 코팅된 시편을 전도성의 탄소 섬유를 이용하여 고정하였으며, 에너지 분산 분광 분석 장치(energy disper-

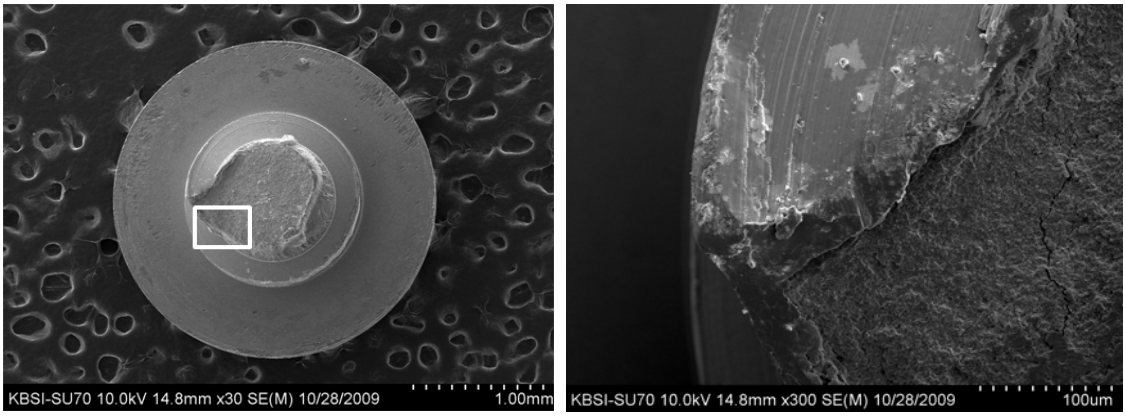


Fig. 2. Scanning electron microscope.



(a) (b)

Fig. 3. Pre-cleansing state (Implant retainng screw). (a) Low magnification (× 30). (b) Higher magnification of the white box area (× 150).



(a) (b)

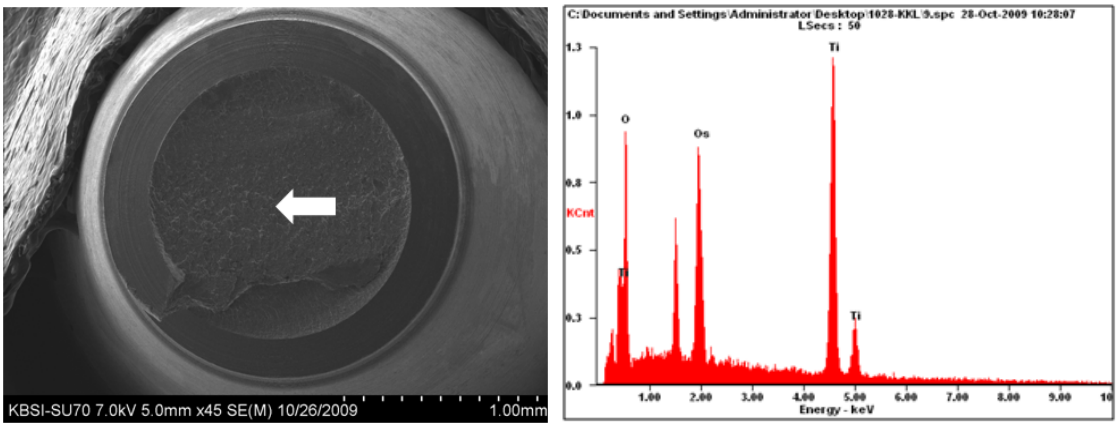
Fig. 4. Post-cleansing state. (a) Low magnification (× 30). (b) Higher magnification of the white box area (× 300).

sive spectrometer, EDS)가 장착된 주사전자현미경(SU-70, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 파절면 분석과 함께 에너지 분산 분광 분석을 시행하였다(Fig. 2). 파절면 분석은 저배율에서 고배율로 순차적으로 진행하였으며, 파절면에서 관찰된 지표들을 종합하여 각 보철물에 대한 파절양상을 분석하였다.

연구 결과

1. 시편 세척 상태 평가

시편의 세척 전과 세척 후의 주사 전자 현미경 사진 비교 시 세척 후 파절면의 유기 물질 및 잔사가 현저히 제거된 것을 볼 수 있다(Fig. 3, 4).



(a) (b)

Fig. 5. EDS analysis of implant retaining screw (titanium). (a) EDS analysis was performed in this area (arrow). (b) The titanium elements occupied most of the sample.

2. 임상 및 방사선 사진 분석

총 11개의 임플란트 유지나사를 수집할 수 있었으며(Table I), 파절은 모두 제2소구치 후방에서 발생되었다. 유지나사는 금나사에서 4개, 티타늄 나사 3개, 금 지대주 나사 1개, 티타늄 지대주 나사 3개에서 파절되었다. 또한 파절된 나사 중 8개는 나사 두부와 첫 번째 나사산 사이 부분(shank) 부위에서 파절이 발생하였으며(Fig. 1a), 3개의 임플란트 유지나사에서는 나사산 부위(thread)에서 파절이 발생하였다(Fig. 1b).

3. 파절면 분석 및 에너지 분산 분광 분석

파절면 분석 시 나사 종류에 따른 차이는 없었으나 제작 금속에 따라 그리고 가해진 하중에 따라 각기 다른 파절면이 관찰되었다.

1) 티타늄으로 제작된 임플란트 유지 나사의 피로 파절 양상

12개의 시편 중 4개의 시편에서 발생하였다.

Table II. EDS analysis of implant retaining screw (fatigue fracture)

Elements	Weight%	Atomic%
OK	16.0	42.4
TiK	58.9	52.0
OsM	25.0	5.5

*OK: oxygen, TiK: titanium, OsM: osmium

에너지 분산 분광 분석시 코팅 물질인 오시뮴 원소를 제외하면 시편 모두 순수 티타늄으로 제작 된 것을 알 수 있었다(Fig. 5, Table II). 또한 파절면 분석을 위해 저배율로 관찰 시 파절면에서 주요한 균열 방향을 볼 수 있는데 이러한 균열은 나사 직경의 1/4부위에 존재하였으며, 외나사의 파절 가장자리에서 기시하여 나사 전체로 확장된 것을 볼 수 있다(Fig. 6a). 또한 나사 외측에서 톱니바퀴 모양(ratchet mark)의 지표를 관찰할 수 있었는데 이러한 톱니바퀴 모양의 지표는 가장 자리를 따라 고루 분산되어 있었으며, 고배율로 관찰 시 피로 줄무늬가 관찰할 수 있었다(Fig. 6b, c). 피로 줄무늬의 방향은 일정

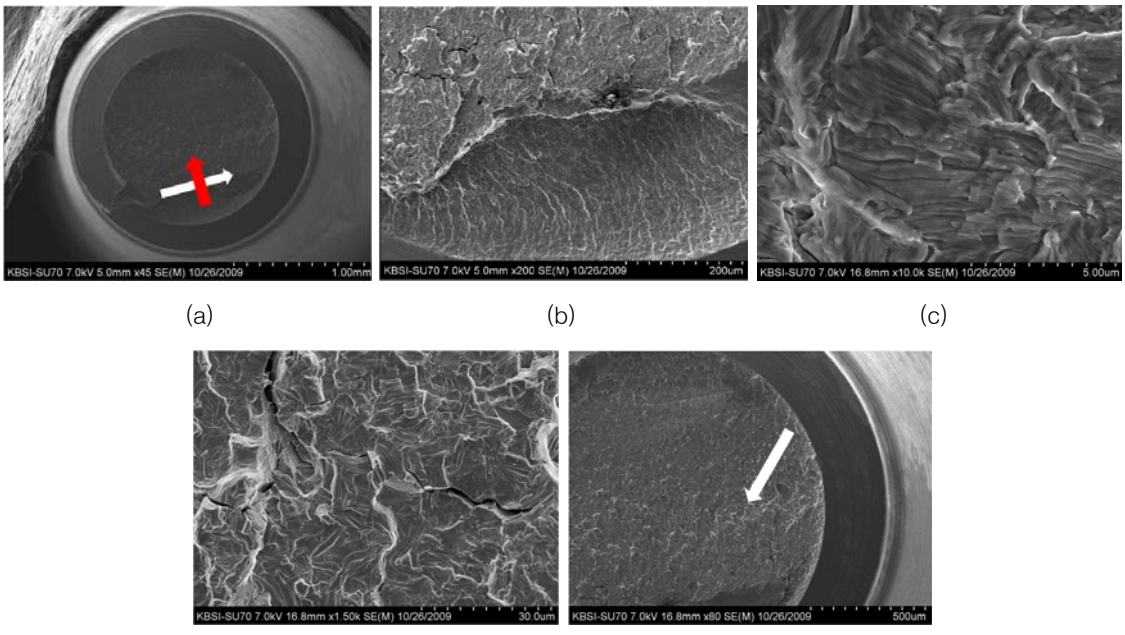
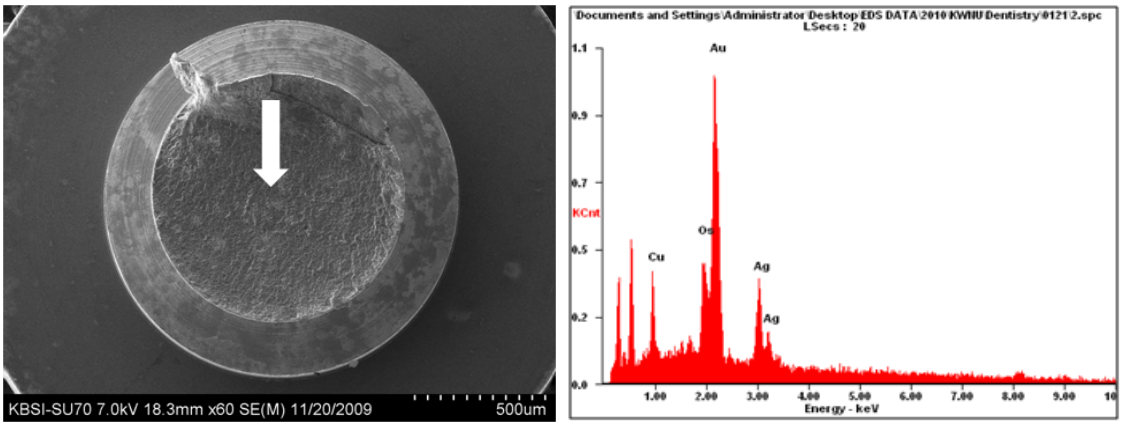


Fig. 6. Implant retaining screw (titanium). (a) Low magnification (× 45, white arrow indicates direction of crack propagation, red arrow indicate progression of primary crack). (b) Ratchet mark of implant retaining screw in higher magnification (× 200). (c) Fatigue striation of implant retaining screw in higher magnification (× 10,000). (d) Arrow represents definitive fracture area (× 80). (e) Definitive fracture area of retaining screw in higher magnification (× 1,500).

치 않았으나 대체적으로 상방을 향하여 파절이 진행되는 양상을 보였으며, 파절편의 상부에서는 벽개 파절 양상을 관찰 할 수 있었다. 이로써 균열은 하부에서 상방, 외측에서 내측으로 진행되었음을 알 수 있다(Fig. 6d, e).

2) 금합금으로 제작된 임플란트 유지나사의 피로 파절 양상

12개의 시편 중 2개의 시편에서 다음과 같은 파절 양상이 관찰되었으며, 에너지 분산 분광 분석시 시편 모두 금합금으로 제작되었음을 알 수 있었다(Fig. 7, Table III). 파절면 분석을 위해 저배율로 분석 시 파절면 가장자리에서 상방으로 향하는 톱니바퀴 모양의 표면을 관찰할 수 있었으며, 이전 파절 양상과 마찬가지로 나사의 1/4 부위에서 주요한 균열 부위를 볼 수 있었다(Fig. 8a). 이 균열을 기준으로 하방의 거친면과 상방의 매끈한 면으로 나누어지게 된다. 이 부위는 각각 균열 증식부와 최종 파절인데 고배율로 확대해 보면 균열 상방에서는 딤플 파절 양상의 표면이, 하방으로는 피로 줄무늬가 관찰됨을 알 수 있었다(Fig. 8b. c. d). 톱니바퀴 모양의 지표와 피로 줄무늬의 지표로부터 균열이 상방으로 진행되었음을 알 수 있으며, 임플란트 유지나사 다른 부위의 피로 줄무늬를 관찰하였을 때에도 균열 증식 및 파절은 대체적으로 임플란트 유지나사의 하방에서 상방으로 외측에서 내측으로 진행되었음을 알 수 있다(Fig. 9a, b, c).



(a) (b)

Fig. 7. EDS analysis of implant retaining screw (gold alloy). (a) EDS analysis was performed in this area (arrow). (b) The gold elements occupied most of the sample.

Table III. EDS analysis of implant retaining screw (fatigue fracture)

Elements	Weight%	Atomic%
CuL	08.8	19.4
AuM	63.9	45.3
AgL	27.2	35.2

*CuL: copper, AuM: gold, AgL: silver

3) 티타늄으로 제작된 임플란트 유지나사의 벽개 파절 양상

총 12개의 파절 시편 중 2개의 시편에서 관찰되었다. 모든 시편은 순수 티타늄으로 제작되었으며(Fig. 10, Table IV), 피로 파절면에서 나타나는 톱니바퀴 모양의 표면과 피로 줄무늬는 관찰되지 않았고, 각 부위에서의 파절면 분석 결과 모두 벽개 파절 양상이 관찰되었다(Fig. 11).

4) 금합금으로 제작된 임플란트 유지나사의 딤플 파절 양상

12개의 시편 중 3개의 시편에서 이와 같은 유형의 파절면이 관찰되었으며, 모두 금합금으로 제작되었다(Fig. 12, Table V). 파절면 관찰 시 톱니바퀴 모양, 피로 줄무늬 등은 관찰되지 않았으며, 나사 전반에 걸쳐 최종 파절(stage III)을 나타내는 딤플 파절 양상을 보였고, 등축(equiaxed) 형태의 표면이 관찰되었다(Fig. 13).

총괄 및 고안

파절면 분석에서 파절면의 분석만큼 중요한 것이 파절면의 추가적인 손상을 방지하기 위한 시편 보관 방법이다. 파절편은 파절면의 미세구조 특징을 파괴할 수 있는 기계적, 환경적 영향을 받기 쉬우므로 모든 보관 및 분석 과정에서 주의 깊게 다루어져야 한다. 파절 후 손상은 습한 환경 및 접촉 등으로 인한 산화 과정인 화학적 손상과 파절편 간의 접촉으로 인한 기계적 손상으로 나눌 수 있다[3]. 본 연구에서는 파절편(임플란트 고정체, 유지나사)을 각각 분리시켜 건조한 상태에 보관하였는데 시편을 분리 보관함으로써 파절편 서로간의 접촉으로 인한 기계

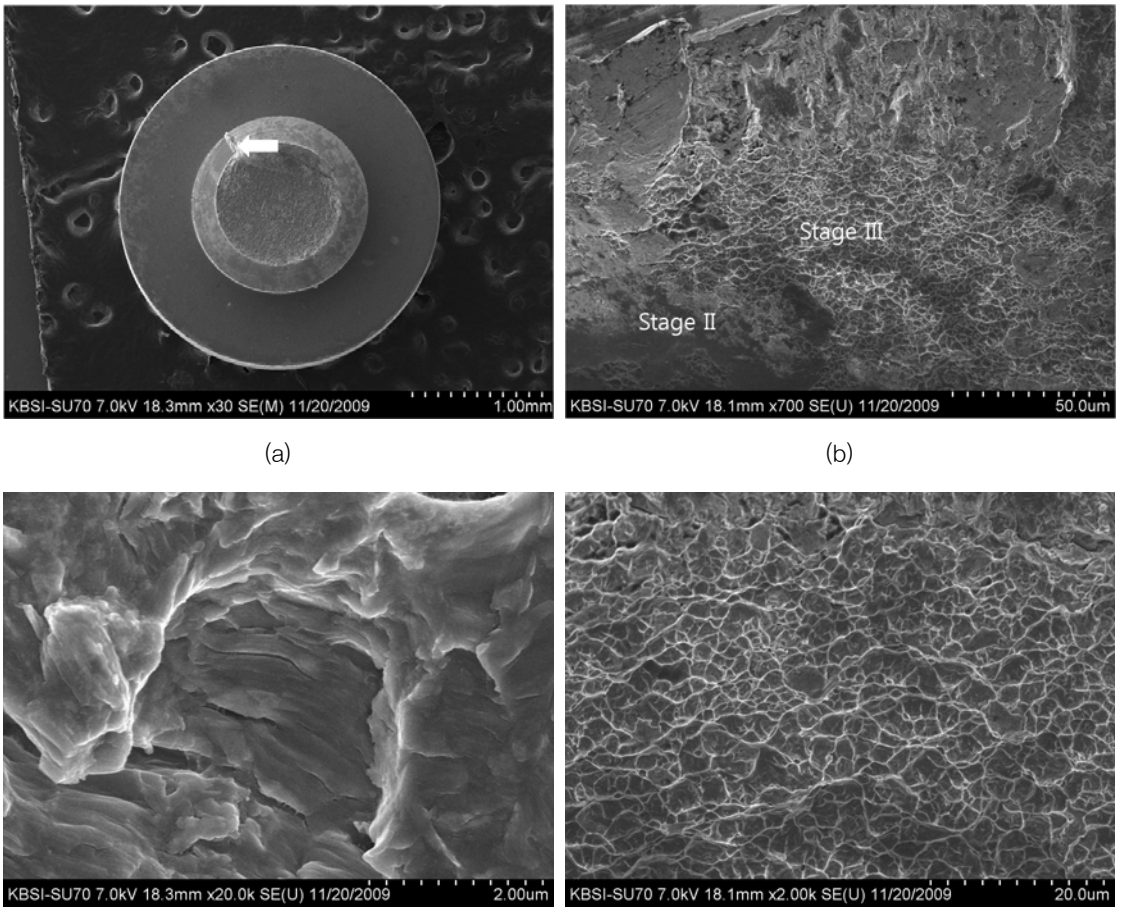
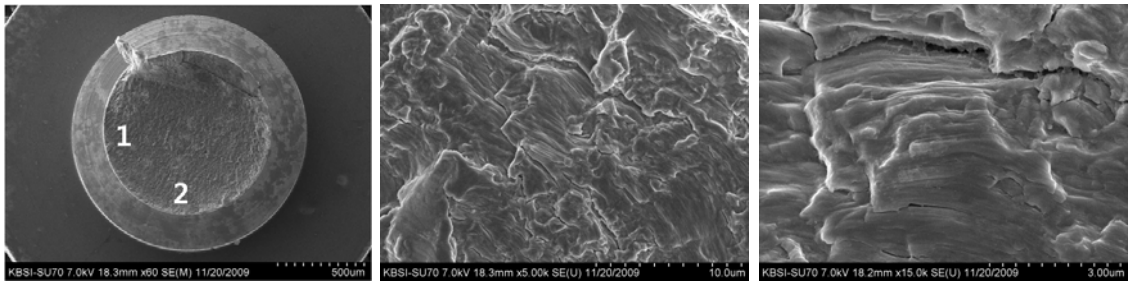


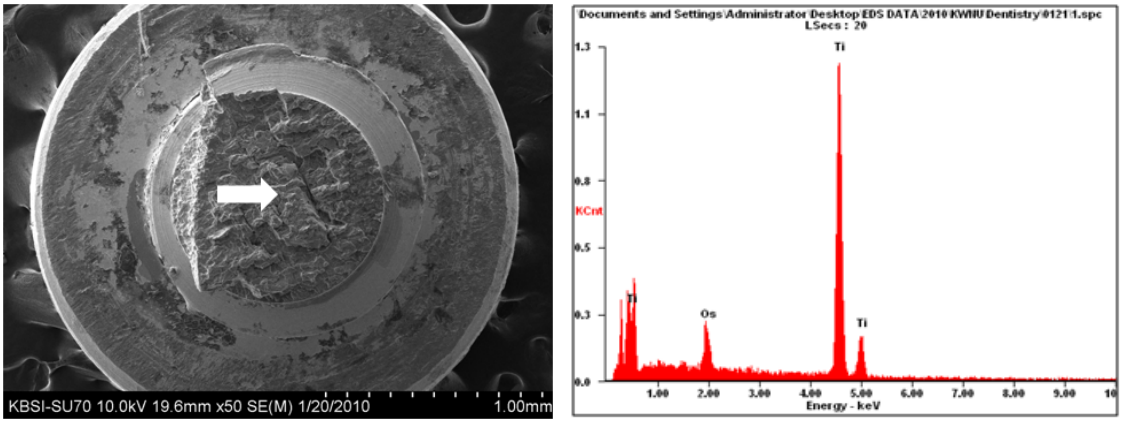
Fig. 8. Implant retaining screw (gold alloy). (a) Low magnification (× 30). (b) Crack propagation area of the stage II and difinitive fracture area of the stage III in higher magnification (× 700). (c) Fatigue striation of the stage II in higher magnification (X 20,000). (d) Dimple appearance of the stage III in higher magnification (× 2,000)

적 손상을 예방하였으며, 건조한 상태에 보관함으로써 파절편의 산화 및 부식을 방지하였다. 또한 파절면은 다양한 환경에 노출 시 표면에 먼지, 부식, 산화물, 유기물 등의 이물질이 발생되는데 이러한 이물질 제거를 위해 수성 세정법 및 유기용매를 이용한 세정법[3]을 이용하였다. 수성 세정법은 세척제를 이용한 잔사 제거법으로써 본 실험에서는 금속 재료에 적절한 입자 세정제인 alconox를 사용하였으며, 유기 용매인 메탄올을 이용하여 한번 더 세척함으로써 남아 있을지 모르는 이물질을 제거하였다. 또한 이들의 효과를 증대시키기 위해 기계적 세척법인 초음파 세척을 병행하였다. 즉, 본 실험에서는 기계적 세척법과 화학적 세척법을 모두 이용하여 세척을 시행하였다. Jabbari 등[23]도 파절된 임플란트 유지나사의 파절면 분석 시 alconox와 메



(a) (b) (c)

Fig. 9. Other surface of implant retaining screw (Fig. 14). Fatigue striation was shown at each area (1–(b), 2–(c)).



(a) (b)

Fig. 10. EDS analysis (titanium). (a) Low magnification (× 50). EDS analysis was performed (arrow). (b) The titanium elements occupied most of the sample.

Table IV. EDS analysis of implant retaining screw (cleavage fracture)

Element	Weight%	Atmic%
TiK	100.0	100.0

*TiK: titanium

탄올 및 초음파 세척을 시행하여 양호한 표면세척 결과를 보인 바 있다. 본 연구에서 세척 전과 세척 후 동일 시편의 주사전자현미경 사진 비교시 세척을 시행한 파절면에서 현저한 이물질의 제거 상태를 확인할 수 있었으며, 이로써 적절한 세척이 이루어졌음을 알 수 있었다. 시편 세척 후 표면 분석 전 오시뮴 코팅 및 탄소 섬유로 시편을 부착하였다. 시편을 전도성인 오시뮴 물질로 얇게 코팅함으로써 표면 관찰 시 보다 높은 전압을 사용할 수 있었으며, 시편을 탄소 섬유와 같은 전도성의 테이프로 고정함으로써 시편의 전도성을 향상시켜 보다 양호한 영상을 얻을 수 있었다[3]. 또한 파절면 분석을 위해 주

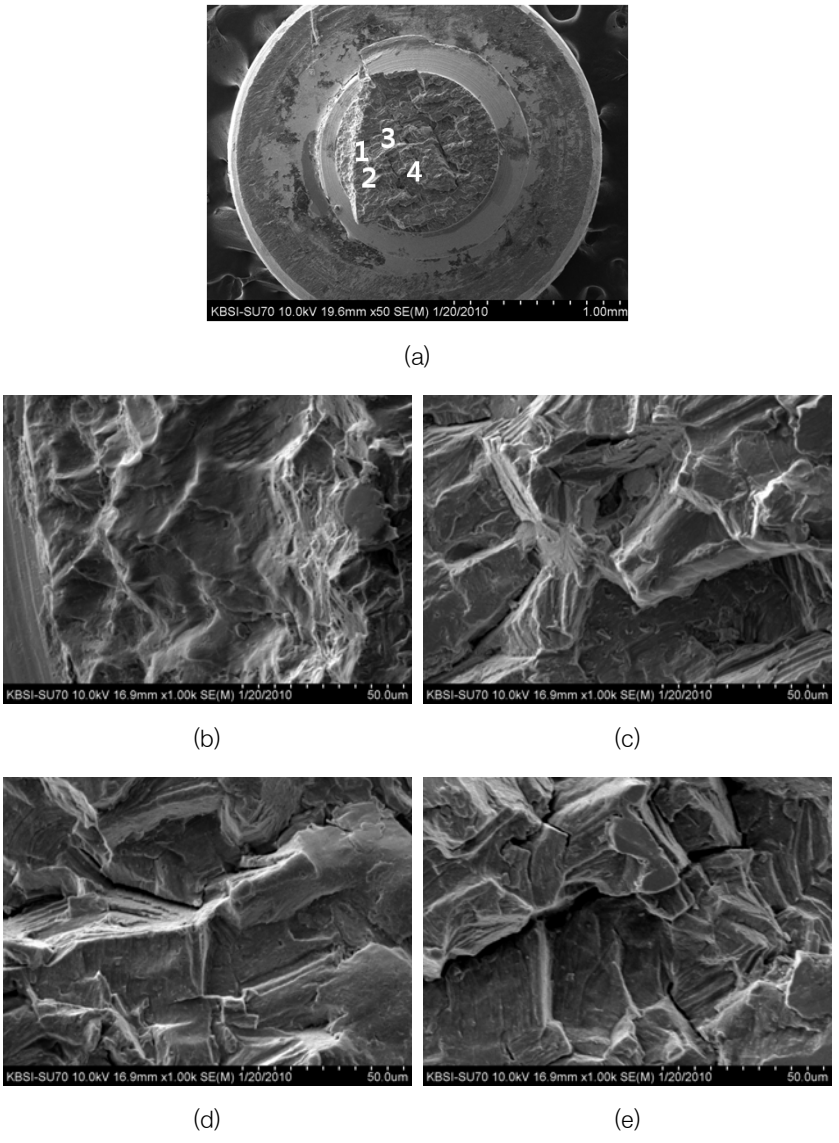
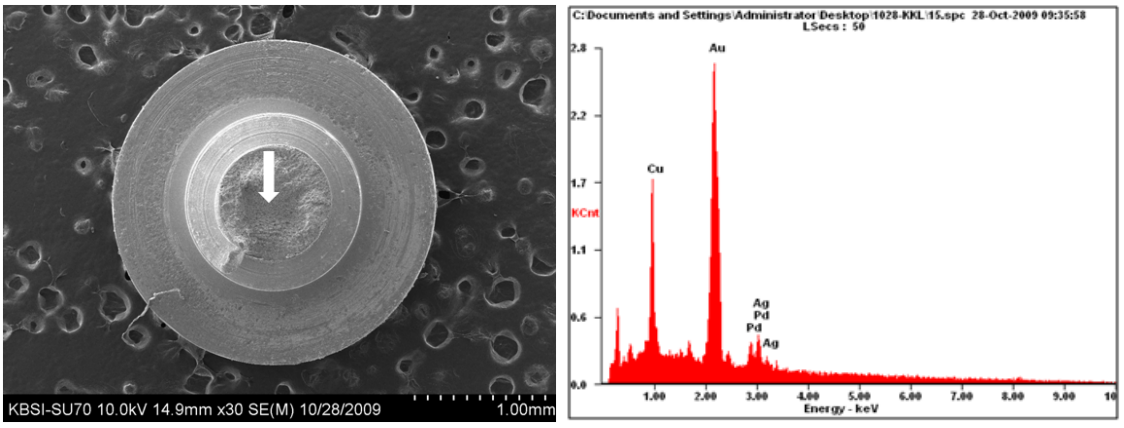


Fig. 11. Implant retaining screw (titanium). Cleavage fracture was shown in the all surface of fracture fragment (1-(b), 2-(c), 3-(d), 4-(e)).

사전자현미경을 이용하였다. 주사전자현미경은 표면을 분석할 수 있는 기구로써 높은 해상도 및 피사계 심도(depth of field)를 지니고, 상을 삼차원적으로 보여줄 수 있으며, 넓은 범위의 배율로 촬영이 가능하기 때문에 파절면 검사에 있어서 이상적인 기구라 할 수 있다[3]. 본 연구에서도 주사전자현미경을 이용하여 파절면을 다양한 배율에서 높은 해상도로 관찰할 수 있었다.

임플란트 유지나사의 파절은 대부분 구치부에서 발생되었으며, 지대주와 보철물을 연결하



(a) (b)

Fig. 12. EDS analysis of implant retaining screw (gold alloy). (a) Low magnification (X 30). EDS analysis was performed (arrow). (b) The gold elements occupied most of the sample.

Table V. EDS analysis of implant retaining screw (dimple fracture)

Elements	Weight%	Atomic%
CuL	18.8	38.5
AuM	67.1	44.3
AgL	7.4	8.9
PdL	6.6	8.1

*CuL: copper, AuM: gold, AgL: silver, PdL: palladium

는 나사(금나사, 티타늄 나사)에 비해 지대주 나사에서 적은 수의 파절을 보였다. 본 연구와 마찬가지로 Goodacre 등[20]은 금나사가 지대주 나사보다 더 파절되는 빈도가 높다고 언급한 바 있으며, Jemt 등[26]은 수복 부위에 따른 나사 풀림 관찰 시 큰 교합력이 발생되는 구치부에서 나사 풀림이 많이 발생됨을 언급한 바 있다. 그렇지만 나사 파절과 수복 부위의 상관성에 대해 연구한 논문은 없으며, 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서 유지나사의 파절은 나사의 머리부와 나사산 사이 부분에서 8개, 나사산과 나사산 사이부위에서 3개가 발생되었다. 나사의 머리부와 나사산 사이 부분에서의 파절이 발생된 시편의 경우 적절한 전하중과 토크가 가해진 상태에서 반복적인 인장 하중과 수평 하중이 작용하여 파절이 발생되었음을 알 수 있다. 이와 반대로 나사산 부위에서 파절을 보인 시편의 경우 나사 파절이 발생되기 이전에 나사 풀림이 발생되었으며, 이로 미루어볼 때 파절 이전에 과도한 하중이 보철물에 가해지거나 적절한 전하중과 토크가 가해지지 않았음을 추측할 수 있다[23]. 파절된 유지나사의 주사전자현미경 분석 시 금나사(또는 티타늄 나사)와 지대주 나사에서 파절 유형의 차이는 없었으나, 제작 금속에 따라 그리고 나사에 가해진 하중 크기에 따라 각기 다른 파절면이 관찰되었다. 티타늄으로 제작된 나사의 경우 최종 파절은 벽개 파절 양상 즉, 취성 파절 형태를 보였으며 금합금으로 제작된 나사의 경우 최종 파절은 딤플 파절 양상 즉, 연성 파절 형태를 볼 수 있었다. Jabbari 등[23]의 논문에서도 금으로 제작된 나사의 경우 최종적으로 연성 파절 양상이 관찰되었

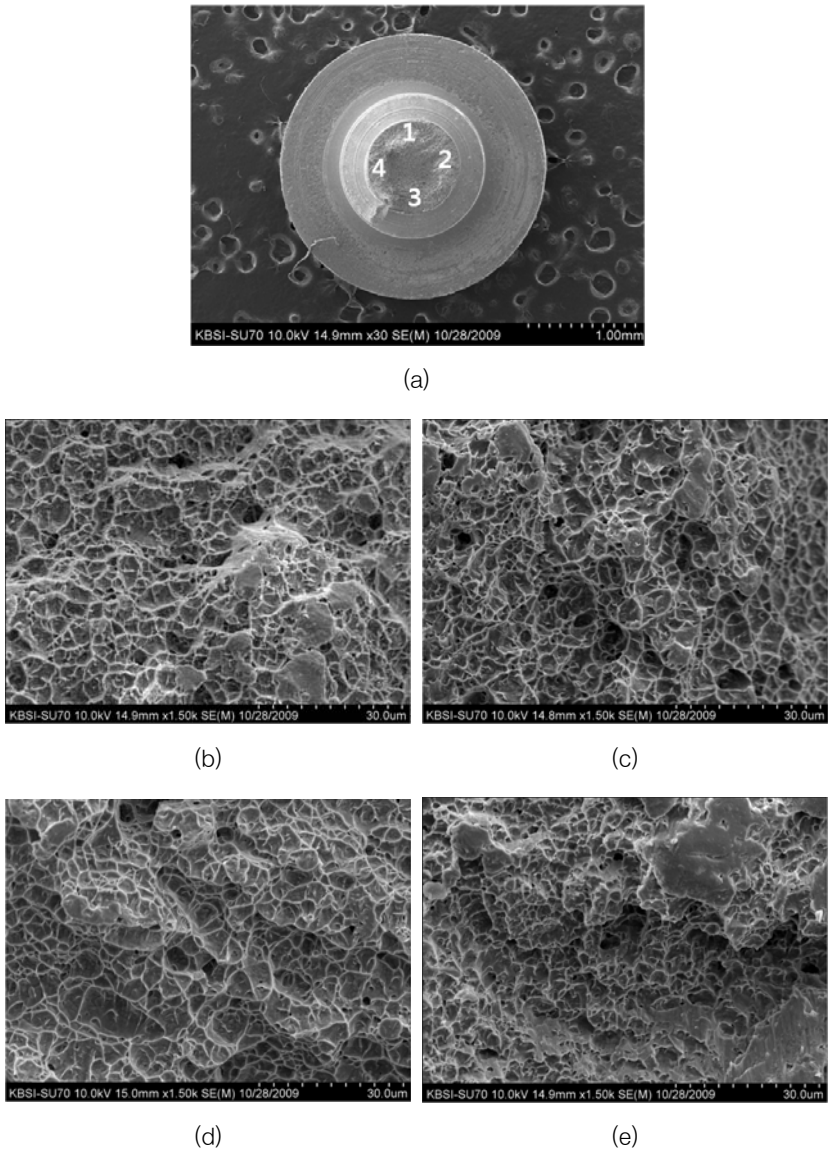


Fig. 13. Implant retaining screw (gold alloy). Dimple fracture was shown in the all surface of fracture fragment (1-(b), 2-(c), 3-(d), 4-(e)).

으며, 티타늄으로 제작된 임플란트의 경우 취성 파절 형태를 보인 바 있다[27]. 순수 티타늄으로 제작된 나사의 파절면(피로파절) 분석 시 주된 균열이 나사 직경의 1/4에 해당되는 부위에서 관찰되었다. 이 부위는 임플란트의 안쪽 나사에 해당되는 부위(단면적 감소)로 저작 시 기계적 응력이 증폭되며, 토크 부여로 인한 전단 응력을 받기 쉽기 때문에 파절이 이 부위에서 발생되었음을 알 수 있다[28]. 파절된 유지나사의 표면을 저배율로 관찰 시 톱니바퀴 모양의 표면이,

동일 부위를 고배율로 관찰하였을 때 피로 줄무늬 형태의 표면이 관찰되었다. 이는 전형적인 피로 파절을 나타내는 균열 증식 단계의 지표로 톱니바퀴 모양의 지표는 균열 증식 방향과 평행하게 나타나게 되고[23], 피로 줄무늬는 균열 증식 방향과 수직으로 나타나게 된다. 이상과 같은 표면의 파절 지표를 분석하여 각 시편에서의 균열 증식 방향을 알 수 있었으며, 나사 직경의 1/4 부위에서 나타나는 벽개 파절 양상을 통해 최종 파절 부위를 파악할 수 있었다. 즉, 이러한 나사 파절은 반복적인 약한 하중이 원인인 피로 부식 균열(corrosion fatigue cracking)에 의한 피로 파절임을 알 수 있었다. 금합금으로 제작된 나사의 파절면 분석(피로 파절)의 경우 티타늄 나사의 피로 파절과 마찬가지로 저배율에서 파절면 가장자리에 피로 파절을 나타내는 톱니바퀴 모양의 표면을 볼 수 있으며, 고배율에서 분석 시 나사의 하부에서는 균열 증식 단계의 지표인 피로 줄무늬가, 나사의 상부에서는 최종 파절 단계에서 나타나는 딤플 표면이 관찰된 것으로 보아 균열은 나사의 하부에서 상부로 진행되었으며, 피로줄무늬를 거쳐 딤플 표면이 나타나는 부위에서 최종 파절이 발생된 것을 알 수 있었다. 이러한 양상의 시편에서도 피로 부식 균열에 의한 피로 파절이 발생되었음을 알 수 있었다. 위에서 언급한 각각의 파절 양상은 재료의 차이로 인해 최종 파절 양상은 다르지만 모두 피로 부식 균열에 의해 파절이 발생하였음을 알 수 있다. Jabbari,[23] Huang 등[22]은 피로 파절된 나사에서 균열 증식 부위와 최종 파절 부위의 면적비를 비교하여 나사에 따라 가해진 하중량의 차이를 분석한바 있다. 그렇지만 본 연구에서는 다양한 시스템의 나사를 이용하여 파절면을 분석하였기 때문에 나사 간의 하중량의 차이는 비교할 수 없었다. 그 외에 다른 유형의 파절면도 관찰되었다. 그 중 하나가 티타늄으로 제작된 나사에서의 파절 양상(과하중)으로 파절면 상에 재료의 결함은 없었으며, 피로 파절의 지표도 나타나지 않았지만 나사의 여러 부위를 분석한 결과 모두 벽개 파절 양상(최종 파절 단계)이 관찰되었다. 즉, 이러한 양상의 파절은 오랜 기간 사용 후 파절이 발생된 피로 파절이 아닌 과하중으로 인해 단기간 사용 후 상대적으로 에너지가 낮은 결정면을 따라 파절이 발생된 것으로 분석할 수 있다. 또 다른 유형의 파절은 금합금으로 제작된 나사에서의 파절 양상(딤플파절)으로 위의 파절 양상과 같이 재료의 결함 및 피로 파절의 지표는 관찰할 수 없었으며, 고배율 분석 시 나사의 모든 부분에서 등축성 딤플 표면 양상(equiaxed dimple appearance)을 관찰 할 수 있었다. 이러한 딤플 표면 양상은 과하중이 파절의 주요 원인일 때 미세 공간이 융합되고 커져서 발생되는 연속적인 파절면 형태로써 단축성 인장 하중(uniaxial tensile load) 시 등축성 딤플이 형성되게 되며, 전단(shear) 하중의 경우 한쪽으로 길어진 딤플 표면(elongated dimple)이 형성된다[3]. 본 시편에서는 피로 파절의 지표는 관찰할 수 없었으며, 등축성 딤플이 형성된 것으로 보아 단축성 인장 응력(uniaxial tesile load)이 과도하게 가해져서 파절이 일어난 것으로 분석할 수 있다. 임플란트 유지 나사의 경우 모두 4가지의 파절 양상을 관찰할 수 있었으며, 임상 및 방사선 사진 평가, 파절면 분석을 통해 파절의 진행 방향, 파절 시 가해진 하중의 형태와 양, 재료의 결함 여부 등에 대한 객관적인 정보를 얻을 수 있었다. 이러한 정보를 분석하여 임상적으로 실패한 임플란트의 보철물의 파절 원인(하중 양상)을 보다 명확히 할 수 있었으며, 파절 원인에 대한 분석을 통해 임상에서 동일 원인으로 인한 실패를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 파절된 임플란트 유지 나사의 파절면을 관찰하여 하중 및 재료에 따른 파절양상을 분석하였다. 모든 임플란트 유지 나사의 경우 큰 교합력이 발생되는 구치부에서 파절이 발생되었으며, 파절면 분석 시 재료 및 하중에 따라 다양한 표면이 관찰되었다. 임플란트 고정체의 파절과 같이 반복적인 약한 하중(피로 부식 균열)으로 파절된 나사의 경우 균열이 기시, 증식되어 최종 파절 단계로 이르는데 오랜 기간이 소요됨에 따라 균열 증식 단계의 지표인 피로 줄무늬와 톱니바퀴 모양의 표면을 관찰할 수 있었으나, 단기간의 과하중으로 파절된 티타늄과 금나사의 파절면에서는 균열이 기시, 증식되어 최종 파절에 이르는데 짧은 기간이 소요됨에 따라 균열 증식 단계의 지표는 볼 수 없었으며, 최종 파절 단계인 벽개 파절과 딤플 파절 양상만이 관찰되었다.

참 고 문 헌

1. Powell GW, Mahmond SE, Mills K. Failure analysis and prevention. ASM Handbook, volume 11. ASM international; 1992.
2. Scherrer SS, Quinn JB, Quinn GD, Kelly JR. Failure analysis of ceramic clinical cases using qualitive fractography. Int J Prosthodont 2006;19:185-192.
3. Mills K, Davis JR, Destefani JD, Dieterich D. ASM Handbook, volume 12, Fractography. ASM international; 1992.
4. Scherrer SS, Quinn GD, Quinn JB. Fractographic failure analysis of Procera® Allceram crown using stereo and scanning electron microscopy. Dent Mater 2008;24:1107-1113.
5. Taskonak B, Yan J, Mecholsky JJ. Fractographic analyses of zirconia-based fixed partial dentures. Dent Mater 2008;24:1077-1082.
6. Kelly JR, Campbell SD, Bowen HK. Fracture-surface analysis of dental ceramics. J Prosthet Dent 1989;62:536-541.
7. Bates JF, Scott J. Studies related to the fracture of partial dentures-Fractography of Cobalt-chromium alloys. J Biomed Mater Res 1973;7:419-429.
8. Gapido CG, Kobayashi H, Miyakawa O, Kohno S. Fatigue resistance of cast occlusal rests using Co-Cr and Ag-Pd-Cu-Au alloys. J Prosthet Dent 2003;90:261-269.
9. Iwama CY, Preston JD. Cobalt-Chromium-Titanium alloy for removable partial dentures. Int J Prosthodont 1997;10:309-317.
10. Davis DM, Waters NE. An investigation into the fracture behavior of a particulate-filled bis-GMA resin. J Dent Res 1987;66:1128-1133.
11. Yamini S, Young R. The mechanical properties of epoxy resins. J Mater Sci Mater Med 1980;15:1823-1831.
12. David DM, Waters NE. Fractography of a bis-GMA resins. J Dent Res 1989;68:1194-1198.
13. Brånemark PI, Adell R, Lekholm U, Rockler B. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment the edentulous jaw. Int J Oral Surg 1981;10:387-416.
14. Quirynen M, Assche NV, Botticelli D, Berglundh T. How does the timing of implant placement to extraction affect outcome? Int J Oral Maxillofac Implant 2007;22:203-223.
15. Jokstad A, Carr AB. What is the effect on outcomes of time to loading of a fixed or removable prosthesis placed on implant? Int J Oral Maxillofac implants 2007;22:19-48.
16. Weber HP, Sukotjo C. Does the type of implant prosthesis affect outcomes in the partially edentulous patient? Int J Oral Maxillofac Implants 2007;22:140-172.
17. Bryant SR, Jankowski DM, Kim KS. Does the type of implant prosthesis affect outcomes for the completely edentulous arch. Int J Oral Maxillofac Implants 2007;22:117-139.
18. Lekholm U, Steenberghe DV, Herrmann I, Bolender C. Osseointegrated implants in the treatment of partially edentulous jaws: a prospective 5-year multicenter study. Int J Oral Maxillofac Implants 1994;9:627-635.
19. Hemmings KW, Schmitt A, Zarb GA. Complications and maintenance requirements for fixted prostheses and overdentures in the edentulous mandible: a 5-year report. Int J Oral Maxillofac Implants 1994;9:191-196.
20. Goodacre CJ, Kan JY, Rungcharassaeng K. Clinical complications of osseointegrated implants. J Prosthet Dent

1999;81:537-552.
21. Versluis A, Korioth TWP, Cardoso AC. Numerical analysis of a dental implant system preloaded with a washer. Int J Oral Maxillofac Implants 1999;14:337-341.
22. Huang HM, Tsai CM, Chang CC, Lin CT, Lee SY. Evaluation of loading conditions on fatigue-failed implants by fracture surface analysis. Int J Oral Maxillofac Implants 2005;20:854-859.
23. Jabbari YS, Fournelle R, Ziebert G, Toth J, Lacopino M. Mechanical behavior and failure analysis of prosthetic retaining screws after long-term use in vivo. part4: failure analysis of 10 fractured retaining screws retrieved from three patients. J Prosthodont 2008;17:201-210.
24. Tonetti MS, Schmitt A. Pathogenesis of implant failures. Periodontology 2000 1994;4:127-138.
25. Eckert SE, Woollan PC. Retrospective review of 1170 endosseous implants placed in partially edentulous jaws. J Prosthet Dent 1998;79:415-421.
26. Jemt T, Laney WR, Harris D, Henry PJ, Krogh P. Osseointegrated implants for single tooth replacement: a 1-year report from a multicenter prospective study. Int J Oral Maxillofac Implants 1991;6:29-36.
27. Morgan MJ, James DF, Pillar RM. Fractures of the fixture component of an osseointegrated implant. Int J Oral Maxillofac Implants 1993;8:409-414.
38. Manda MG, Psyllaki PP, Tsipas DN, Koidis PT. Clinical device-related article observations on an in-vivo failure of a titanium dental implant/abutment screw system: a case report. J Biomed Master Res Part B: appl Biomater 89B: 264-273.

Fracture Analysis of Implant Components Using Scanning Electron Microscope. Part I - Implant Retaining Screw

Kwang-Gil Lim, Dae-Gon Kim, Lee-Ra Cho, Chan-Jin PARK

Department of Prosthodontics and Institute of Oral Science, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University

Fracture causes serious problems in many instance of prosthetic failures. But it is hard to find the definite causes when fractures occur. Fractography encompasses the examination of fracture surfaces that contain features resulting from the interaction of the advancing crack with the microstructure of the material and the stress fields. All fractured specimens(implant retaining screw) retrieved from Gangneung-Wonju national university dental hospital for 3 years(from 2007 to 2009). After pretreatment of samples, the scanning electon microscope were used for surface examination and fracture analysis. In case of most of the fractured specimens, fracture took place by fatigue fracture and fractured surface represents fatigue striation. Fatigue striation indicate the progression of the crack front under cyclic loading, are characteristic of stage 2 crack growth. The site of crack initiation and stage 1 crack growth were not easily identified in any of the failure, presumably because of the complex microstructural features of the polycrystalline sample. In case of fractured by overload, dimpled or cleavage surface were observed. Using the interpretation of characteristic markings(ratchet mark, fatigue striation, dimple, cleavage et al) in fracture surfaces, failure events containing the crack origin, crack propagation, material deficiency could be understand. Using the interpretation of characteristic markings in fracture surfaces, cause and mechanism of fractures could be analyzed.

Key words : Fracture analysis, implant retaining screw, scanning electron microscope

Correspondence to : Prof. Chan-Jin Park
Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, 120 Gangneung Daehangno, Gangneung city, Gangwon-do, South Korea, 210-702
Tel : +82-33-640-3153, Fax : +82-33-640-3113, E-mail : doctorcj@gwnu.ac.kr
Received : June 25, 2010, Last Revision : November 20, 2010, Accepted : December 25, 2010