

임플란트 구성요소의 파절면에 관한 주사전자현미경적 연구. Part I: 임플란트 고정체

강릉원주대학교 치과대학 치과보철과

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 후 파절된 임플란트 고정체의 파절면 분석을 시행하여 파절 기전 및 파절 원인(하중 양상)을 밝히는 것이다. 파절된 임플란트 고정체는 3년간 강릉-원주 대학교에 임플란트 고정체의 파절을 주소로 내원한 환자를 대상으로 수집하였다. 먼저 임상 및 방사선 사진 분석을 하였으며, 시편 세척 과정을 거쳐 주사 전자 현미경을 이용한 파절면 분석을 시행하였다. 임플란트 파절면 분석 시 피로 줄무늬, 벽개 파절 등의 파절 지표를 통해 피로 파절로 인해 파절이 발생되었음을 확인할 수 있었다.

주요어: 임플란트 고정체, 파절면 분석, 주사전자현미경 (구강회복응용과학지 2010;26(3):297~309)

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 분

석 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 방법으로 파절면의 특징을 관찰함으로써 균열 기시점, 진행 방향, 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

교신 저자 : 박찬진

강원도 강릉시 강릉대로120, 강릉원주대학교 치과대학, 210-702

Tel: +82-33-640-3153, Fax: +82-33-640-3113, E-mail: doctorcj@gwnu.ac.kr

원고접수일: 2010년 5월 15일, 원고수정일: 2010년 9월 3일, 원고채택일: 2010년 9월 25일

분석할 수 있는 능력을 지닌 분석 도구로서 파절면을 저배율에서 고배율까지 넓은 범위의 배율에서 높은 해상도로 분석할 수 있는 장점을 지닌 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 논문에서만 치과재료(치과용 도재,^{4,6} 코발트-크롬 합금,^{7,9} 레진¹⁰⁻¹² 등)에 대한 파절면 분석을 다루고 있을 뿐이다.

50년 전 Brånemark¹³이 치과용 임플란트의 개발 및 임상연구를 시행한 이후 임플란트 재료 및 임플란트 설계에 있어 많은 변화와 개발이 이루어져 최근에 검토된 논문에서 의하면 임플란트는 식립 시기,¹⁴ 하중 시기,¹⁵ 수복물 형태^{16,17}에 관계없이 90%이상의 성공률을 보이고 있다. 그렇지만 임플란트에서도 파절로 인한 실패가 발생되며, 임플란트 고정체(implant fixture)에서도 예외는 아니다. Eckert 등¹⁸은 식립된 4,937개 임플란트 고정체의 파절 발생율은 상악과 하악에서 0.6%로 차이가 없으며, 부분 무치악 수복물(1.5%)에서 완전 무치악 수복 시(0.2%) 보다 더 많은 파절이 발생됨을 밝혔고, 파절은 모두 기능적 하중이 가해진 후에 발생되었다. 또한 Bashi 등¹⁹도 4,045개의 임플란트 식립 5년 후 0.2%의 임플란트 고정체의 파절을 보고하였으며, Zarb 등²⁰은 274개 임플란트 식립 후 임플란트 고정체의 파절은 발생되지 않았음을 보고한 바 있다. 위와 같이 논문 고찰을 통해 임플란트 고정체의 파절은 0-0.6% 정도의 발생을 보인다는 것을 알 수 있다. 그 외 Green 등²¹은 임플란트 고정체 파절의 원인에 대해 언급하였는데 고정체 설계, 재료 결함, 상부 구조물의 부적절한 적합도, 이갈이, 과하중, 임플란트 위치와 크기, 금속 피로, 임플란트 주위의 골 흡수 등이 파절 원인이 될 수 있다고 하였다. 또한 Morgan 등²²은 임플란트 고

정체를 이용한 하중에 따른 파절면을 분석하였는데 약한 힘의 주기적인 하중에서 피로 파절의 특징인 피로 줄무늬(fatigue striation)가 관찰되었으며, 임상적으로 파절된 Brånemark 임플란트 고정체의 파절면 분석에서도 피로 파절의 특징인 피로 줄무늬를 볼 수 있었다. 그 외에도 임상적으로 파절된 임플란트에 대한 파절면 분석이 시행되었으며, 위와 같은 파절 양상을 언급한 바 있다.^{23,24} 이와 같이 파절면 분석을 통해 실패한 임플란트 고정체의 파절 양상 및 파절 원인을 분석할 수 있으며, 동일한 원인으로 인한 재발을 방지할 수 있다.

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

연구재료 및 방법

1. 시편 수집

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

Table I. Fractured implant fixture

Product	Number	Location	Service life
A Company	3	M ₁	42 M
		M ₁	58 M
		M ₁	60 M

*M₁: first molar, M₂: second molar



Fig. 1. Upper part of fractured implant fixtures.



Fig. 2. Fixed specimens with conductive carbon fiber.



Fig. 3. Scanning electron microscope

2. 시편 준비와 파절면 분석을 위한 관찰

파절된 임플란트 고정체 시편은 개별적으로 밀폐 용기에 담아 건조기에 보관하였으며, 주사 전자 현미경을 이용하여 파절면 분석을 시행하기 직전 시편의 세척을 시행하였다. 먼저 시편을 물과alconox (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(Fig. 2), 에너지 분산 분광 분석 장치(energy dispersive spectrometer, EDS)가 장착된 주사전자현미경(SU-70, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 파절면 분석과 함께 에너지 분산 분광 분석을 시행하였다(Fig. 3). 파절면 분석은 저배율에서 고배율로 순차적으로 진행하였으며, 파절면에서 관찰된 지표들을 종합하여 각 보철물에 대한 파절양상을 분석하였다.

결 과

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. 4, 5).

2. 임상 및 방사선 사진 분석

총 3개의 임플란트 고정체를 수집할 수 있었다. 이들은 모두 동일한 제조사(A사)에서 제작된 동일 직경(4mm)의 임플란트로 기능적 하중(보철물 장착) 4-5년 후 제1대구치 부위에 식립된 임플란트에서 파절이 발생되었다(Table I). 파절 시

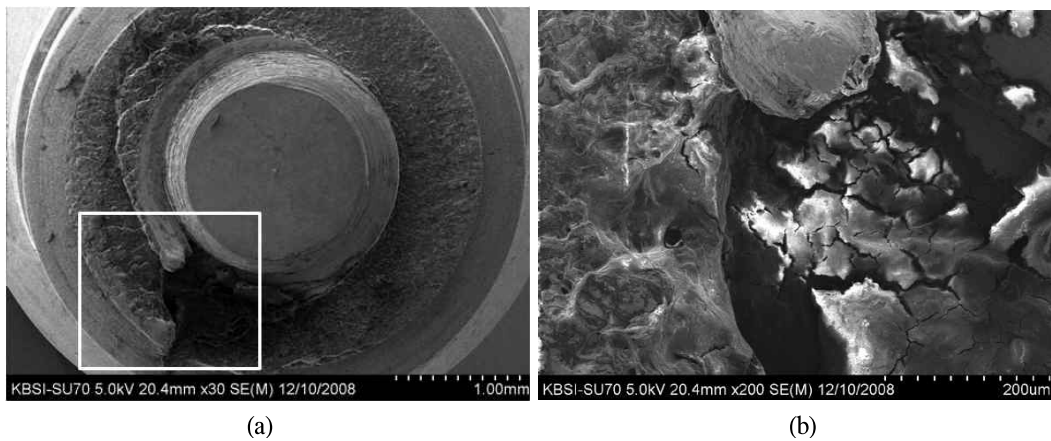


Fig. 4. Pre-cleansing state (Implant fixture). (a) Low magnification (X 30). (b) Higher magnification of the white box area (X 200).

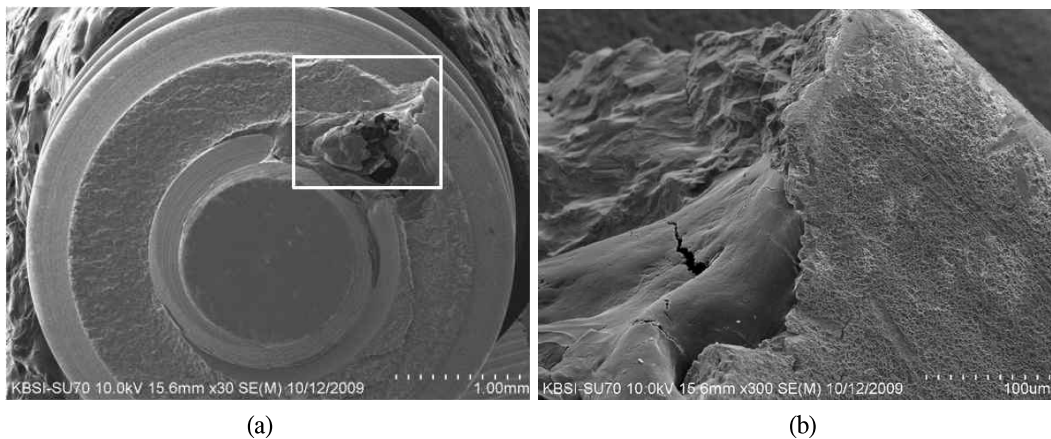


Fig. 5. Post-cleansing state. (a) Low magnification (X 30). (b) Higher magnification of the white box area (X 300).

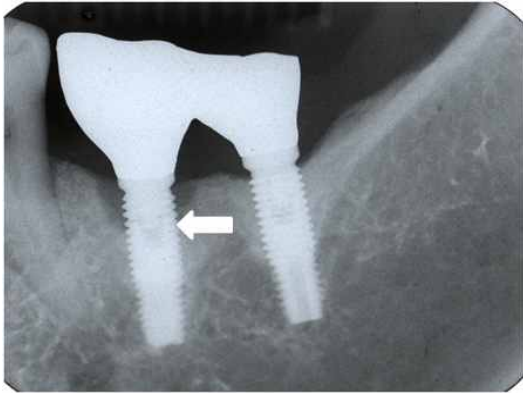


Fig. 6. Periapical radiograph of fractured implant (Arrow indicates fractured area of implant fixture and marginal bone level).

방사선 사진상에서 임플란트 고정체 주위골은 컵(cupping) 형태의 흡수가 관찰되었다(Fig. 6). 또한 파절면 관찰 시 임플란트 고정체내에서 파절은 주로 상방부 1/3 부위의 3-4번째 나사산 부위에서 발생하였으며, 이 부위는 임플란트 유지나사의 말단부와 일치하였다(Fig. 1).

3. 주사 전자 현미경을 이용한 파절면 분석

파절면 분석 시 임플란트 고정체의 상부는 구강내에서 제거하여 파절면 분석을 시행하였으나 하부는 제거 시에 파절면이 손상되어 파절면 분석을 시행할 수 없었다. 수집된 3개의 임플란트 고정체 모두 비슷한 양상의 파절면이 관찰되었다.

1) 임플란트 고정체의 측면

구강내에서 제거된 임플란트 고정체 상부의 측면을 관찰하였다(Fig. 7a). 임플란트 고정체의 파절은 외나사산을 따라 진행되었으며, 결과적으로 파절면에 층(step)을 형성하였다. 파절은 임플란트 유지나사의 말단부에 해당하는 수준에서 발생되었으며, 임플란트 유지나사의 파절은 관찰되지 않았다. 최종 파절 부위를 보다 고배율로 관찰 시 최종 파절의 기시부에서 전단변형(shearing deformation)이 관찰되었다(Fig. 7b).

2) 임플란트 고정체의 상부

저배율에서 분석 시 임플란트 고정체의 기포 또는 결함은 관찰되지 않았으며(Fig. 8a), 고배율

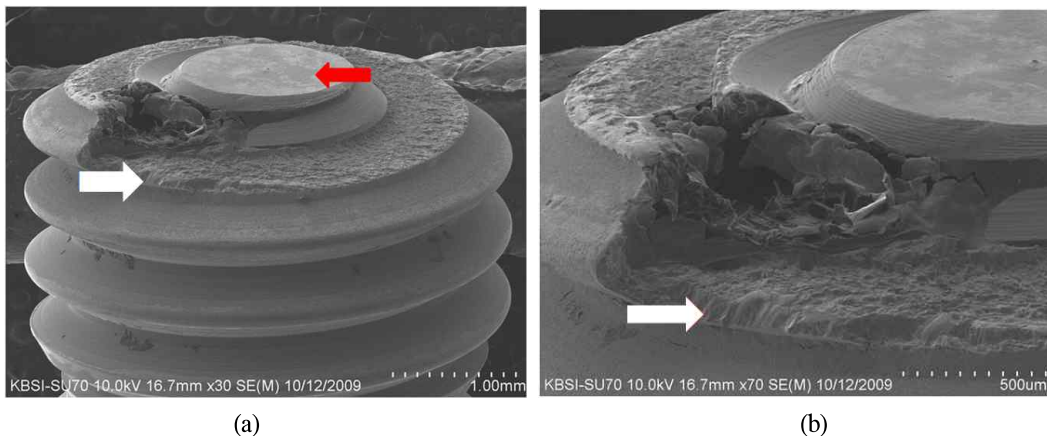


Fig. 7. Side view of the fractured implant fixture. (a) Low magnification (X 30, white arrow indicates sound implant retaining screw). (b) Shearing deformation area of the white arrow in higher magnification (X 70).

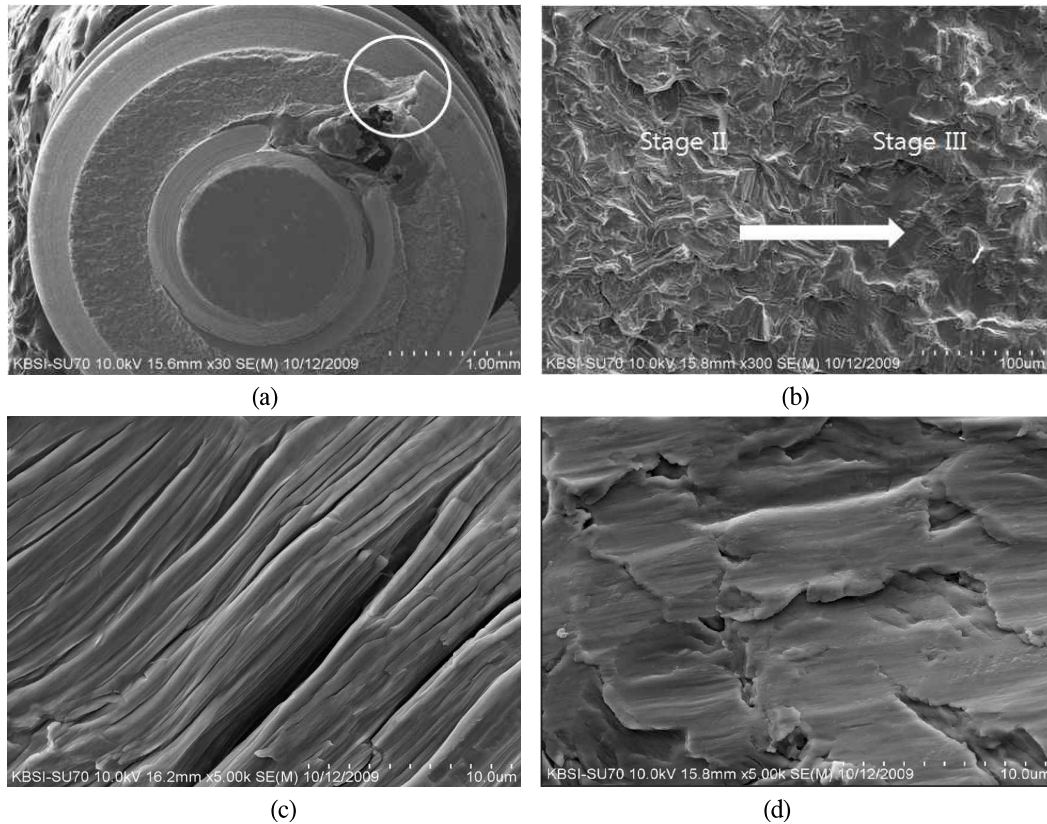


Fig. 8. Upper part of fractured implant fixture (1). (a) Low magnification (X 30, defect area was not detected). (b) Crack propagation of the stage II and definitive fracture area of the stage III in higher magnification (X 300). White arrow represents direction of the crack propagation. (c) Fatigue striation of the stage II in higher magnification (X 5,000). (d) Cleavage fracture of the stage III in higher magnification (X 5,000).

관찰 시 시편에서 피로 파절의 특징인 피로 줄무늬가 관찰되었다(Fig. 8c). 이들 피로 줄무늬는 일정한 방향성을 보이지는 않았지만 대체로 외측에서 내측으로 향하였으며, 균일한 너비(0.9-1 μ m)를 보였다. 피로 줄무늬에 이어 인접한 부위에 최종적인 파절 단계인 취성 파절을 나타내는 벽개 파절(cleavage fracture) 양상도 관찰되었는데 이로써 균열은 임플란트 외측에서 내측으로 그리고 좌측에서 우측으로 진행되었음을 알 수 있다(Fig. 8b, d). 나머지 2개의 임플란트 고정체 시

편에서도 비슷한 양상의 파절 지표가 관찰되었다(Fig. 9, 10)

4. 에너지 분산 분광 분석

분석 결과 임플란트 고정체는 모두 순수 티타늄(commmercially pure titanium)으로 제작된 것을 확인할 수 있었으며, 임플란트 고정체의 파절부 위치에 따라 미세 원소가 차지하는 비율은 조금씩 달랐지만 조성의 차이는 없었다(Fig. 11, Table II).

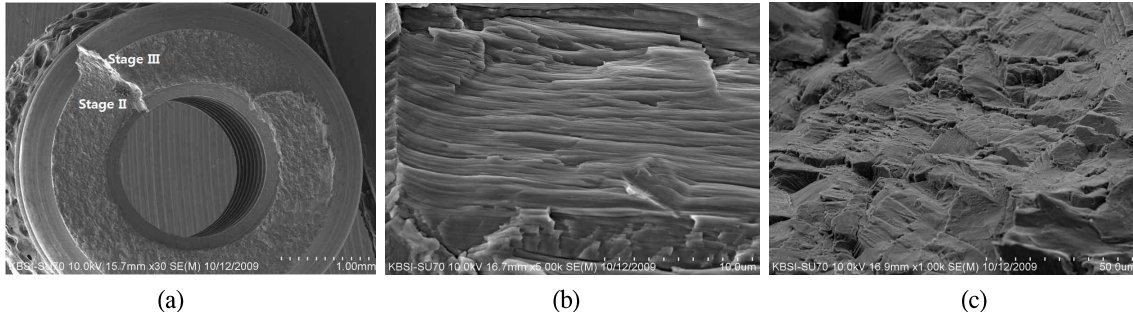


Fig. 9. Upper part of fractured implant fixture (2). (a) Low magnification (X 30, defect area was not detected. Crack propagation of the stage II and definitive fracture area of the stage III were shown.). (b) Fatigue striation of the stage II in higher magnification (X 5,000). (c) Cleavage fracture of the stage III in higher magnification (X 1,000).

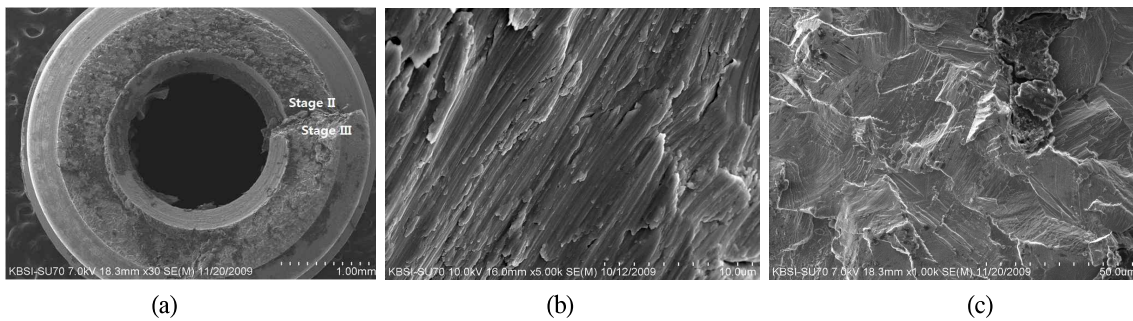


Fig. 10. Upper part of fractured implant fixture (3). (a) Low magnification (X 30, defect area was not detected. Crack propagation of the stage II and definitive fracture area of the stage III were shown.). (b) Fatigue striation of the stage II in higher magnification (X 5,000). (c) Cleavage fracture of the stage III in higher magnification (X 1,000).

Table II. The results of EDS analysis in fractured implant fixture

Elements (weight%)	1	2	3
OK	26.3	17.6	8.7
TiK	73.6	82.3	91.2

*OK: oxygen, TiK: titanium

총괄 및 고안

파절면 분석에서 파절면의 분석만큼 중요한 것이 파절면의 추가적인 손상을 방지하기 위한 시편 보관 방법이다. 파절편은 파절면의 미세 구조 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 화학

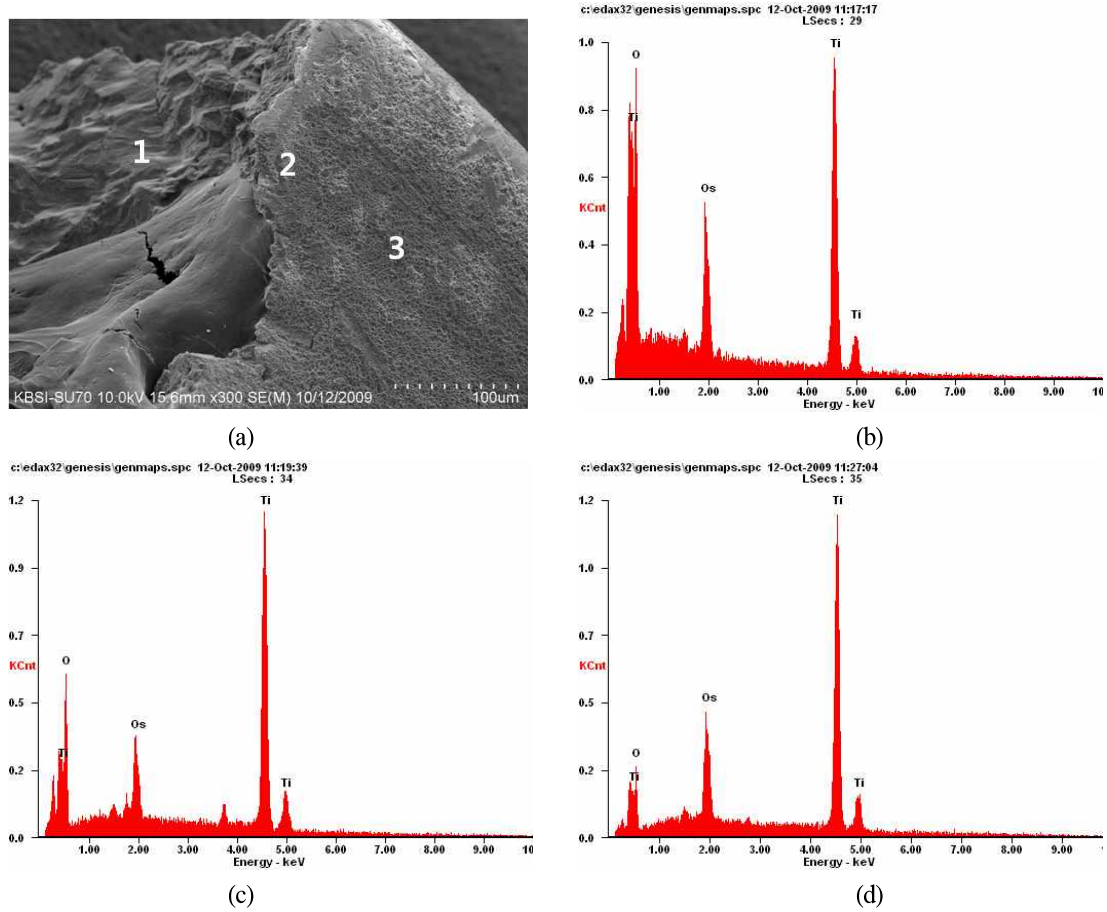


Fig. 11. EDS analysis of fractured implant fixture (a) was performed. Same atomic compositions as peaks were shown at each area (1-(b), 2-(c), 3-(d)).

적 손상과 파절편 간의 접촉으로 인한 기계적 손상으로 나눌 수 있다.³ 본 연구에서는 파절편(임플란트 고정체)을 각각 분리시켜 건조한 상태에 보관하였는데 시편을 분리 보관함으로써 파절편 서로간의 접촉으로 인한 기계적 손상을 예방하였으며, 건조한 상태에 보관함으로써 파절편의 산화 및 부식을 방지하였다. 또한 파절편은 다양한 환경에 노출 시 표면에 먼지, 부식, 산화물, 유기물 등의 이물질이 발생되는데 이러한 이물질 제거를 위해 수성 세정법 및 유기용매를 이용한

세정법³을 이용하였다. 수성 세정법은 세척제를 이용한 잔사 제거법으로써 본 실험에서는 금속 재료에 적절한 입자 세정제인 alconox를 사용하였으며, 유기 용매인 메탄올을 이용하여 한번 더 세척함으로써 남아있을지 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 등²⁵도 파절된 임플란트 유지나사의 파절면 분석

시 alconox와 메탄올 및 초음파 세척을 시행하여 양호한 표면세척 결과를 보인 바 있다. 본 연구에서 세척 전과 세척 후 동일 시편의 주사전자현미경 사진 비교 시 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 주사전자현미경을 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 고정체의 파절 분석 시 파절은 보철물 장착 후 42-60개월 사이에 발생되었다. 이는 골 유착 후 실패를 일으킬 수 있는 사건에 따른 결과로써 지연 임플란트 실패(late implant failure)²⁶로 분류할 수 있으며, Eckert 등²⁷은 부분 무치악 수복 환자에서 지연 임플란트 실패는 골 유착 실패보다는 임플란트 파절로 인해 더 빈번히 발생한다고 언급하였다. 또한 임플란트 고정체의 파절은 모두 구치부 소수치 수복 시 발생되었다. Rangert 등²⁸은 임플란트 파절 시 90%가 구치부에서 발생되었는데 77%가 1개 또는 2개 임플란트에 의해 지지되는 수복물에서 발생되었으며, 이것은 굽힘력에 의한 과하중의 위험성(면적당 부하량의 증가, 교두의 형태와 협설측 하악 운동에 의해 측방력이 가해지기 쉬움)이 크기 때문이라고 언급하였다. 또한 Steven 등¹⁸은 교합력이 저작근과 측두하악 관절 부위에 가까우며, 교합면이 넓은 구치부에서는 교합력이 크게 작용

하고 장축과 다른 방향의 힘(경사력)이 작용하여 임플란트 고정체의 파절을 일으키기 쉽다고 언급한 바 있다. 본 연구의 구치부 단일치를 수복한 임플란트 고정체 파절과 같은 경우에도 이같은 요인이 작용하여 파절이 발생된 것으로 추측할 수 있다. 또한 파절이 발생한 모든 환자의 방사선 사진 상에서 파절이전에 임플란트 고정체 내 임플란트 유지나사가 체결되는 직하방까지 골흡수 양상(컵 형태)이 관찰되었다. Hoshaw 등²⁹은 임플란트에 과하중 시 변연부 골 흡수가 일어난다고 하였으며, Morgan 등²²은 임플란트 주위 치경부 부위의 골 흡수 시 임플란트에 더 높은 굽힘 응력이 발생되고 골 흡수가 임플란트 고정체의 3번째 나사선까지 진행 시 임플란트 파절 취약부(임플란트 고정체와 임플란트 유지나사가 공존하는 부위에서 임플란트 유지나사를 위해 형성한 고정체 내의 빈공간이 잔존하고 있는 부위)가 노출되어 파절이 쉽게 발생할 수 있다고 하였다. 즉, 이 부위에서는 단면적이 감소되어 굽힘 모멘트(bending moment)에 취약한 부분이 되고 이로 인해 균열 기시와 증식이 일어나 파절이 발생한다고 하였다. 또한 Rangert 등²⁸은 컵 형태의 특징적인 골 흡수 양상은 파절이 기시될 때부터 발생된다고 하였으며, 이러한 컵 형태의 골 흡수는 초기 피로 균열부(initial fatigue crack)의 반복적인 미세틈(microopening)을 통한 염증성 물질의 침투 때문이라고 언급하였다.

파절된 임플란트 고정체의 에너지 분산 분광 분석 시 임플란트 고정체가 순수 티타늄으로 제작되었다는 것을 보여주었으며, 파절에 기여할 위해 원소(불순물)는 포함되어 있지 않았다. 또한 파절편의 주사전자현미경 분석 시 임플란트 고정체 내의 기포 또는 결함이 존재하지 않은 것으로 보아 파절이 재료 자체나 공정 중 결함에 의해 발생된 것은 아님을 알 수 있었다. 주사전자현미경을 이용한 파절면 분석 시 어떠한 파절편에서도 균열 기시부(1단계)는 관찰할 수 없었는데 이는 기계적으로 가공된 다결정 시편의 복잡한 미세 구조적 특징에 의한 것으로 추측된다.

그렇지만 균열 증식 단계(2단계)의 지표인 피로 줄무늬는 관찰할 수 있었다. 이러한 피로 줄무늬는 균열의 진행방향을 나타내는 지표로써 균열의 진행 방향과 수직적으로 관찰되며, 큰 응력을 받을 경우 줄무늬 간의 공간이 넓어지게 된다.³⁰ 본 연구 시편에서 피로 줄무늬가 다방향성을 띠고 이들의 간격이 균일하게 관찰된 것으로 보아 최종 파절 시까지 여러 방향의 반복적이고 균일한 하중을 받았음을 알 수 있었다. 피로 줄무늬에 이어 완전한 파절(stage III)을 나타내는 벽개 파절이 관찰되었는데 벽개 파절³¹은 에너지가 낮은 결정 격자를 따라 일어나는 파절로 취성 파절을 의미한다. 즉, 본 시편에서 임플란트 고정체는 소성 변형에 의한 파절이 아닌 취성 파절이 발생되었음을 알 수 있다. 결국 임플란트 고정체의 파절은 저작과 같은 반복적인 약한 하중에 의해 균열이 기시 또는 진행된 것으로 볼 수 있으며, 최종적으로 취성 파절의 형태로 파절이 발생된 것으로 보아 금속 피로에 의한 파절을 알 수 있었다. Morgan 등²²은 Brånemark 임플란트 고정체를 이용한 생체 내 실험에서 과하중에 의한 파절 시 소성 변형 이후 최종적으로 연성 파절 양상을 보였으며, 주사전자현미경 분석 시 딥플 표면을 관찰할 수 있다고 하였다. 또한 최대 항복 응력의 60%의 하중(250 MPa, 정상적인 생리적인 하중치)을 가하였을 경우 파절 시 까지 많은 수의 반복적인 하중이 필요했으며, 주사전자현미경을 이용한 분석 시 피로 줄무늬를 관찰할 수 있었다고 한다. 고정체의 파절과 타액과의 관계에 대해 Green 등²¹은 임플란트 고정체의 파절 원인으로 고정체와 상부 구조물과의 전위차 및 타액에 의한 부식(galvanic corrosion)의 가능성을 언급한 바 있으며, Zavaneli 등³²은 합성 타액 내에서 부식 피로 수명 측정 시 순수 티타늄은 합성 타액 내에서 보다 파절되기 쉽다고 언급한 바 있다.

본 연구에서 임상적으로 파절된 임플란트 고정체(3개)의 경우 국소적인 응력에 의해 임플란트 고정체의 치경부 부위에서 골 흡수가 발생되

었고, 골 흡수가 진행됨에 따라 임플란트 고정체에 높은 굽힘 응력을 형성하였다. 굽힘 응력에 취약한 3-4번째 나사산 부위(유지 나사를 위한 내부 공간은 있으나 유지 나사가 체결되지 않는 부분)에서 응력, 타액, 전위차등에 의한 미세한 균열이 발생하여 컵 형태의 골 흡수가 발생되었으며, 저작력과 같은 반복적인 하중에 의해 최종적으로 피로 파절이 발생된 것을 알 수 있었다. 즉, 3개의 파절된 임플란트 고정체의 시편 분석 시 모두 동일한 파절 양상을 보였으며, 타액 및 반복적인 하중에 의해 발생된 피로 부식 균열에 의한 파절로 분석할 수 있다.

결 론

본 연구에서는 파절된 임플란트 고정체의 파절면을 관찰하여 하중 및 재료에 따른 파절양상을 분석하였다. 임플란트 고정체의 경우 파절은 보철물 시적 후 42-60개월에 과하중의 위험성이 큰 구치부 소수치 수복 시 임플란트 고정체에서 구조상 가장 취약한 부분인 3-4번째 나사산 부위에서 파절이 발생되었다. 표면 분석 결과 피로 파절의 주요 지표인 피로 줄무늬와 최종 파절의 주요 지표인 벽개파절을 파절면에서 관찰할 수 있었으며, 이를 이용하여 균열 진행 방향과 최종 파절 위치 및 파절 양상을 동정할 수 있었다. 파절된 3개의 임플란트 고정체 모두 반복적인 약한 하중에 의한 피로부식 균열이 파절의 원인으로 분석할 수 있었다.

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 qualitative fractography. Int J Prosthodont 2006;19:185-192.
3. Mills K, Davis JR, Destefani JD, Dieterich D. ASM Handbook, volume 12, Fractography. ASM inter-

- national; 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. Eckert SE, Meraw SJ, Cal E, Ow R. Analysis of incidence and associated factors with fractured implants: A retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:662-667.
 19. Balshi TJ. An analysis and management of fractured implants: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:660-666.
 20. 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;64:185-194.
 21. Green NT, Machtei EE, Horwitz J, Peled M. Fracture of dental implants: Literature review and report of a case. *Implant Dent* 2002;11:137-143.
 22. Morgan MJ, James DF, Pillar RM. Fractures of the fixture component of an osseointegrated implant. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993;8:409-414.
 23. Capodiferro S, Favia G, Frenza GD, Grassi R. Clinical management and microscopic characterization of fatigue-induced failure of a dental implant. Case report. *Head&Face Medicine* 2006;2:18-23.
 24. Piattelli A, Piattelli M, Scarano A, Montesani L. Light and scanning electron microscopic report of four fractured implant. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998;13:561-564.
 25. 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.
 26. Tonetti MS, Schmitt A. Pathogenesis of implant failures. *Periodontology* 2000 1994;4:127-138.
 27. Eckert SE, Woollan PC. Retrospective review of 1170 endosseous implants placed in partially edentulous jaws. *J Prosthet Dent* 1998;79:415-421.
 28. Rangert B, Krogh PH, Langer B, Roekel NV.

- Bending overload and implant failure: a retrospective clinical analysis. *Int J Oral Maxillofac Impants* 1995;10:326-334.
29. Hoshaw SJ, Brunski JB, Cochran GV. Mechanical loading of Brånemark implants affects interfacial bone modeling and remodeling. *Int Oral Maxillofac Implants* 1994;9:345-360.
30. Jones DD, Schroeder JR, Greene KA, Benzing B. *Fractography of modern engineering materials: Composites and metals*. 1985.
31. 최병학. *금속 손상 진단*. 서울: 진영사; 1997. pp1-33.
32. Zavanelli RA, Pessanha Henriques GE, Ferreira I. Corrosion-fatigue life of commercially pure titanium and Ti-6Al-4V alloys in different storage environments. *J Prosthet Dent* 2000;84:274-279.

Fracture Analysis of Implant Components using Scanning Electron Microscope. Part I : Implant Fixture

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

The objective of the present study was to perform a fracture analysis on fractured implant fixture after use in vivo and make clear the cause & mechanisms of failure. In case of fatigue fracture, the 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.

Key words: Fracture analysis, implant fixture, 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: May 15, 2010, Last Revision: September 3, 2010, Accepted: September 25, 2010