

임플란트와 상부보철물의 임상적/실험적 부적합 평가에 관한 문헌고찰

강릉원주대학교 치과대학 치과보철학교실 및 구강과학연구소
김 종 회, 조 웅 래, 고 경 호, 허 윤 혁, 박 찬 진, 조 리 라

ABSTRACT

A literature review on clinical/ laboratory misfit evaluation on implant-prosthesis

Department of Prosthodontics,, School of Dentistry, Gangneung Wonju National University
Jong-Hoi Kim, Woong-Rae Cho, Kyung-Ho Ko, Yoon-Hyuk Huh, Chan-Jin Park, Lee-Ra Cho

The presence of implant-prosthesis misfits can cause various complications. It is very important to detect misfits to prevent such complications. There are various evaluation methods for misfit assessment including clinical methods and laboratory in vitro methods. The clinical misfit evaluation includes radiographic analysis, visual observation, probing, Sheffield test, evaluation with disclosing materials, and screw resistance test. The laboratory in vitro evaluation method includes indirect modelling evaluation and direct metrological visualization. Of the indirect modelling methods, photoelastic stress analysis, finite element analysis, strain gauge analysis, and microbial colonization analysis were reviewed. Of the direct metrological visualization, microscopic analysis, 3-D photogrammetric analysis, coordinate measuring analysis, and radiographic analysis were reviewed. In this review, the characteristics, advantages and disadvantages of each method were evaluated.

Key words : Implant, Prosthesis, Misfit, Direct metrological visualization, Indirect modelling method, Clinical evaluation method, Laboratory evaluation method

Corresponding Author

Prof. Lee-Ra Cho

Department of Prosthodontics, College of Dentistry and Research Institute of Oral Science, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, Jukheongil 7, Gangneung, Gangwon-Do, 25457, Korea.

Fax : + 82-33-640-3103, E-mail : lila@gwnu.ac.kr

I. 서론

임플란트 보철물을 제작할 때 인상채득, 주모형 제작, 납형 주조 및 소환 등의 과정을 거치면서 변형이 발생하는 것을 피할 수 없다¹⁾. 오류가 누적되어 변형된 상부보철물은 장착 시 정확하게 적합되지 않아 움직임을 야기할 수 있다. 임플란트와 상부보철물을 연결할 때 부적합(misfit)에 의해 발생하는 움직임은 다양한 합병증을 유발할 수 있다(Fig. 1). Jimbo 등²⁾에 의하면 부적합으로 인해 협설 방향으로 평행한 보철물의 측면 파절이 발생하며 변연골 소실을 동반한다고 하였고, Cha 등³⁾은 발견하지 못한 부적합이 있을 경우 구치부 임플란트 지대주 나사의 빈번한 풀림현상 및 임플란트 파절이 발생한다고 하였다.

아무리 정밀하다고 해도 제작과정을 거치며 오류는 누적되기 때문에 임상적으로 허용가능한 수동적 적합(passive fit)의 범위를 먼저 정의하여야 한다. 3차원적으로 볼 때 수평적인 부적합은 임플란트 구성요소의 공차(machining tolerance)에 의해 대부분 큰 문제가 되지 않지만 너무 큰 공차를 가진 경우 장기적으로 문제를 야기하는 원인이 되기도 한다. 발견할 수 있고 임상적으로 문제가 되는 것은 수직적인 부적합이

기 때문에 여러 저자들은 임플란트 및 주위 조직에 가해지는 응력의 범위나 임플란트 본체와 상부보철물 사이의 간격으로 허용가능한 수직적 범위를 정의하였다. Branemark⁴⁾의 경우 골반응에 나쁜 영향을 미치지 않는 10 μm 정도를, Watanabe 등⁵⁾은 간격이 존재하지 않고 어떠한 응력을 가하지 않는 상태를 수동적 적합으로 정의하였으며 Jemt 등⁶⁾과 Kosyfaki 등⁷⁾은 통상적으로 120 μm 정도는 임상적으로 허용할 수 있다고 하였다. Katsoulis 등⁸⁾은 적합과 비적합을 범위에 따라 나누었는데 0~50 μm 정도면 우수한 적합도, 50~100 μm 을 양호한 적합도, 불량한 적합도는 150 μm 이상이라고 하였다.

수동적 적합의 범위를 넘는 부적합을 발견하여 미리 대처하는 것은 매우 중요하며 이러한 구조적 문제를 실험실에서 관찰하는 것은 문제의 근본적 원인을 밝히는 방법이 되기도 한다. 부적합을 평가할 때는 거리 또는 공극의 양을 2차원적으로 평가하거나 부피적으로 평가하기도 하고 수학적으로 계산하기도 한다. 본 문헌고찰에서는 임플란트 본체와 상부보철물 사이의 부적합을 평가하는 다양한 임상적, 실험적 방법들의 장단점 및 한계점과 적용범위를 소개하고자 한다.



Fig. 1. Clinical failures of abutment and screw due to undefined misfit.

Ⅱ. 임상적 부적합 평가

임상에서 부적합을 발견하기 위해 사용하는 가장 일반적인 방법은 방사선 사진을 이용하여 계면의 부적합을 평가하는 것이다. 구내 방사선 사진을 촬영할 때 임플란트 장축에 수직으로 조사하는 것이 필수적이며, 기울어진 조사각도, 해부학적 구조물과의 중첩으로 인해 잘못된 정보를 얻을 수도 있다.⁹⁾ 외부 연결형 임플란트에서는 편하게 사용할 수 있지만 내부 연결형 임플란트에서는 계면 사이의 미세한 간격이나 나사와 임플란트 내면의 거리로 판별해야 하는 어려움이 있어 관찰하고자 하는 시스템을 잘 파악하고 있어야 한다(Fig. 2).

눈으로 임플란트 보철물의 변연 부적합을 관찰하는 방법은 시각정보를 통해 부적합을 발견하는 방법이다. 치은연상 변연을 갖는 보철물에만 적용할 수 있다는 한계가 있으며 조명이나 배경, 관찰각도에 따라 부적합이 있음에도 관찰하기 어려울 수도 있다¹⁰⁾.

방사선 사진이나 시각적 관찰은 직접적으로 부적합을 확인하는 방법이었던 간접적으로 부적합을 확인하는 방법도 있다. 가장 일반적인 방법은 탐침을 이용

하여 임플란트 본체와 상부보철물 계면을 탐침으로 긁어서 자연스럽게 이행되는지 여부를 통해 부적합의 존재를 발견하는 방법이다. 촉감을 이용하는 방법이기 때문에 정교하지 못하고 술자의 숙련도를 요한다. 또한 간접적으로 부적합을 확인해야 하므로 잘 연마된 상부보철물에서는 정확하게 감지하기 어렵고, 탐침이 마모되면 100 μm 이상의 부적합이라도 감지하기 어렵다고 한다¹¹⁾.

또 다른 방법은 손으로 눌러서 상부보철물의 움직임 여부를 확인함으로써 부적합을 발견하는 것이다¹²⁾. 움직임이 존재한다면 지렛대의 받침점으로 작용하는 곳이 있다는 것이고 부적합이 존재함을 의미한다. 손으로 누를 경우 타액의 움직임을 추가로 관찰하는 것이 부적합을 발견하는데 도움을 줄 수 있다. 간단하게 적용할 수 있지만, 치은연하 변연일때 또는 상부보철물의 길이가 짧거나 언더컷이 클 경우 사용하기 어려운 단점이 있다.

Fit-check과 같은 실리콘 적합확인재를 이용하여 적합도 평가를 하는 경우도 있는데(Fig. 3), 임플란트 부품 간의 공차가 3~5 μm 인데 반해 적합확인재

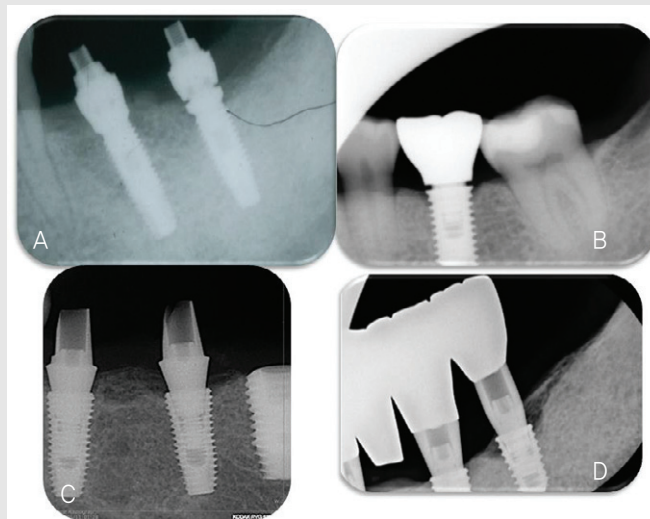


Fig. 2. Radiographic evaluation of misfits. Upper: Misfits in external implants. (A) Gap between implant and abutment. (B) Gap between implant and prosthesis. Gap and misfit can be easily detected. Lower; Misfits in internal implants. (C) Slit like gap between implant and abutment. (D) Gap between implant and abutment. Distance from screw to inner bottom of the implant should be evaluated with detail.

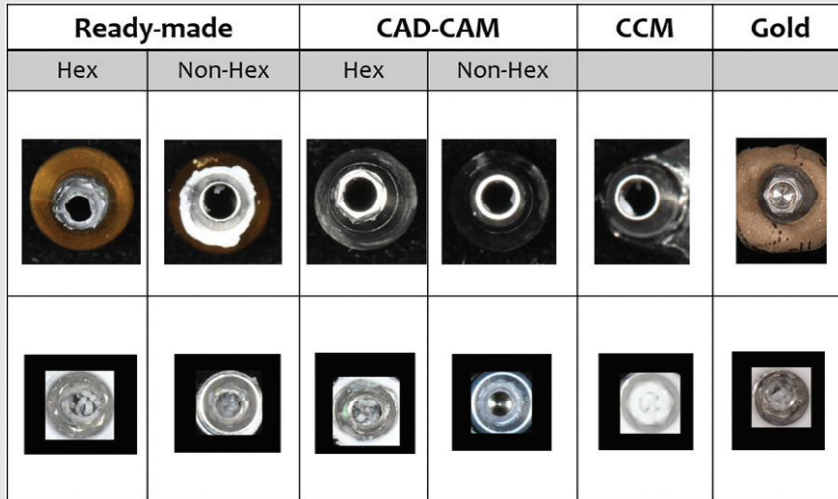


Fig. 3. Fit evaluation for various abutments using disclosing material. (CCM: Cobalt-Chromium-Molybdenum casting abutments).

의 피막도가 16.7~23.7 μm 에 달해 정밀한 부적합을 알기는 어렵고 전반적인 상황 파악을 위해 이용하기도 한다¹²⁾.

Sheffield test법은 one screw test라고도 불린다¹³⁾. 한 쪽 끝 나사를 조이고 탐침, 시각정보, 방사선 사진 등으로 조이지 않은 반대쪽의 부적합을 발견하는 방법이다. 쉽게 적용할 수 있고 긴 범위를 수복하는 보철물의 부적합을 발견하는데 적합하지만 주관적 감각에 의존하며 어느 부위에 정확한 부적합이 있는지 알기는 어렵다.

Jemt¹³⁾가 제안한 나사저항도 평가(screw resistance test) 방법은 저항감을 처음 느낄 때까지 나사를 조인 후 이상적인 조임토크를 가할 때까지 추가 회전하는 정도를 평가하는 방법이다. 상부보철물 나사가 한 바퀴 도는 동안 300 μm 높이 차이가 생기기 때문에 수동적 적합을 150 μm 로 가정하였을 경우, 추가적으로 반 바퀴 이내로 회전하면 수동적 적합이고 그 이상 회전하면 부적합으로 평가하였다. Rochette 등은 드라이버에 깃발(flag)을 표시하는 'flag technique'을 제안하기도 하였다¹²⁾. 부적합의 정도까지 양적으로 가늠할 수 있다는 장점이 있지만,

추가적으로 회전된 정도를 알기 위해 드라이버에 표시해야 하는 번거로움이 있고, 손의 저항감이라는 주관적인 요소가 개입된다는 한계가 있다.

어떤 저자들은 삼차원 사진 측량법(3-D photogrammetric method)을 임상적으로 적용할 수 있다고 주장하는데 삼차원 사진 측량법은 카메라로 찍은 임플란트의 위치를 3차원 좌표로 옮겨 분석하는 방법이다.¹⁴⁾ 카메라 렌즈 앞에 렌즈 장축에 평행하게 거울 두 개를 설치하면 한 가지 상이 아니라 여러 가지 상을 얻을 수 있는데 사진을 찍었을 때 세 개의 상이 나타나도록 평행한 거울의 거리를 설정한다. 이를 3차원 좌표로 옮기고 좌표 상에서 임플란트와 상부보철물 간의 부적합을 발견하는 방법이다(Fig. 4). 이는 정확도가 높은 방법이지만 환자 개개인의 악궁 크기, 개구량이 달라서 각 조건에 맞춰 거울의 간격을 조정하고 찍는 거리도 조정해야 하기 때문에 실제 임상에서 사용하기는 어렵다.

이상과 같은 임상적 부적합 평가방법은 숙련된 술자가 시행할 때는 나름 정확성이 있으나 대부분 부적합 유무를 판단할 수 있을 뿐이며 정확히 어떤 부위에 어떤 원인으로 부적합이 있는지 알려면 추가적인 수단을

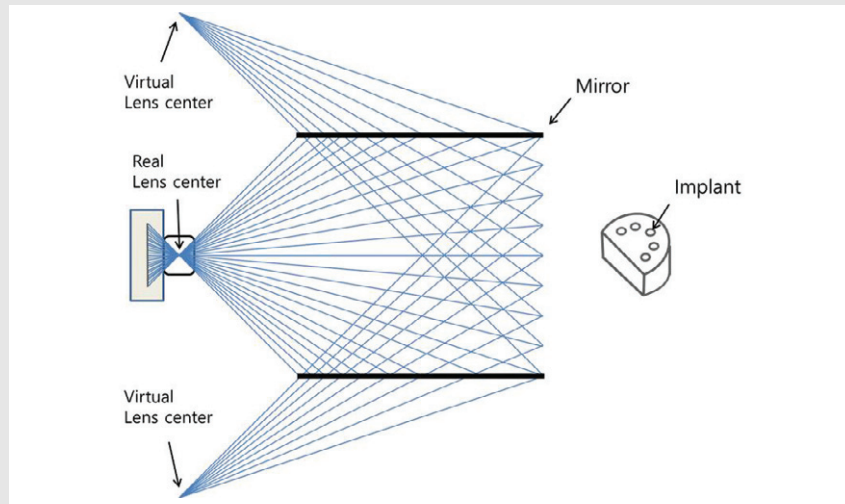


Fig. 4. Diagram of three dimensional photogrammatic analysis. Three lens center (one real lens center and two virtual lens centers take image).

동원해야 확인할 수 있다는 분명한 한계를 가지지만 임상에서 적용하기 위해서는 이를 감수하고도 사용되고 있다.

Ⅲ. 실험적 부적합 평가

임상에서 부적합을 평가하는 것과는 달리 문제가 발생하는 이유를 파악하고 근본적인 원인을 모색하기 위해 실험실에서 부적합을 발견할 수 있는 방법을 사용한다. 다양한 실험실 평가법이 있는데 큰 범주로 나누면 모형화법(modelling evaluation)과 수치법(metrological visualization)으로 나눈다¹⁵⁾. 모형화법은 실험실에서 조건을 가정한 후 간접적으로 부적합이 임플란트 복합체 및 주위조직에 미치는 영향을 평가하는 방법이며, 수치법은 실제 부적합의 정도를 직접적으로 측정하는 방법이다. 각각의 방법을 살펴보자.

모형화법

1. 광탄성 응력분석(photoelastic analysis)

광탄성 응력분석은 광탄성 레진을 사용하여 구조물에 가해지는 응력분산을 줄무늬차수(fringe order)로 직접적으로 보여주는 방법이다. 이 방법은 고정성 보철물의 응력분석에 주로 이용되었으며 임플란트에 발생하는 응력분석에도 이용되고 있다. 다양한 상황의 임플란트를 투명한 광탄성 레진에 매몰한 후 외력을 가하면 그 뒤틀림에 의해 응력이 생기는데 이 때 편광기(polariscope)로 편광을 대면 광학적 성질이 일시적으로 변화하여 복굴절 현상이 발생하기 때문에 두 개의 편광으로 분해된 것이 서로 간섭하여 줄무늬모양이 나타난다. 이 줄무늬 모양은 등색 줄무늬(isochromatic fringes)를 기준으로 구분하는데, 줄무늬의 개수가 많을수록 응력이 크고, 줄무늬의 간격이 좁을수록 응력집중이 큼을 의미한다. Lee 등¹⁶⁾은 줄무늬의 색을 해석하고 정성적 평가를 정량적 평가로 변환시키는 방법을 제시하였다(Fig. 5).

광탄성 응력분석을 이용한 대표적인 임플란트 연구 결과 몇 가지를 살펴보면, Lencioni 등¹⁷⁾은 부적합 때문에 상부보철물을 자르고 레이저 용접(laser

Color	Approximate Relative Retardation		Fringe Order, N
	nm	$\times 10^{-6}$	
N=0	Black	0	0
	Gray	160	0.28
	White	260	0.45
	Pale yellow	345	0.60
	Orange	460	0.80
N=1	Dull red	520	0.90
	Purple (tint of passage)	575	1.00
	Deep blue	629	1.08
	Blue-green	700	1.22
	Green-yellow	800	1.39
N=2	Orange	935	1.63
	Rose red	1 050	1.82
	Purple (tint of passage)	1 150	2.00
	Green	1 350	2.35
	Green-yellow	1 440	2.50
N=3	Red	1 520	2.65
	Red/green transition	1 730	3.00
	Green	1 800	3.10

Fig. 5. Isochromatic fringe characteristics for interpretation of photoelastic stresses (Courtesy by author of article⁸⁾).

welding)을 한 경우 부적합은 줄어들지만 용접한 부분을 경계로 응력이 전달되지 않음을 보고하였다. Lee 등¹⁸⁾은 부적합의 위치, 하중이 가해지는 위치에 따라 시멘트 유지형과 나사 유지형 임플란트 본체에 가해지는 응력이 다른 양상을 나타내었지만 응력은 두 유지 방법에 관계없이 모두 증가한다고 하였다. Torres 등¹⁹⁾은 상부보철물의 재료에 따른 부적합의 정도를 측정하고 가해지는 응력을 광탄성 방법으로 분석하였는데 재료에 따라서는 응력의 차이가 없었으나 부적합의 정도가 커지면 응력이 커진다고 하였다.

광탄성 분석을 이용하면 등색 줄무늬가 나타나는 색 형태를 통해 주변 조직에 가해지는 응력 차이를 가시적으로 파악할 수 있다. 하지만 피질골과 해면골로 이루어지는 치조골을 한 종류의 광탄성 레진으로는 정확히 재현하기 어렵다. 피질골과 해면골을 모두 가정한 논문²⁰⁾도 있기는 했으나 탄성계수가 골과 비슷한 광탄성 레진을 사용한다고 하더라도 골의 특성을 정확히 재현하지 못한다는 한계가 있으며 미세한 조건 차이에 의한 응력비교보다는 임상적으로 적용하기에 부담되

는 조건을 실험하는 것이 더 적합할 것으로 사료된다. 또한 부적합이 골조직에 미치는 영향을 평가할 수는 있으나 부적합으로 인해 구성요소에 나타나는 응력을 평가할 수 없다는 한계도 있다.

2. 유한요소분석(finite element analysis)

유한요소분석은 임플란트 본체와 상부보철물을 유한개의 요소로 분할하여 개별 요소의 특성을 계산한 후 모두 조합하여 전체 모델에 가해지는 응력을 표시하는 방법이다. 디지털 기술이 발전하면서 대부분 2차원 보다는 3차원 분석을 시행하는데 이는 임플란트 본체와 상부보철물의 단면을 강상으로 회전시켜서 3차원 실제 보철물을 재현하며, 보철물, 주변골, 하중 방향, 하중 정도 등의 물성(탄성계수와 푸아송 비(Poisson's ratio) 즉, 재료가 인장력의 작용에 따라 그 방향으로 늘어날 때 가로 방향 변형도와 세로 방향 변형도 사이의 비율)을 입력하여 응력결과를 도출하고 분석을 시행한다(Fig. 6).

Table 1. Various hypothesis in modelling for finite element analysis

	Linear static	Nonlinear static	Nonlinear dynamic
Material modelling	Linear	Linear, nonlinear	Linear, nonlinear
Deformation	Infinitesimal	Moderate or large	Moderate or large
Translation + rotation	Not allowed	Limited	Allowed
Contact	DOF constrained	Sliding	Sliding
Equation	$F = Ku$	$F = Ku$	$F = Ma + Ku$
Stiffness matrix K	Linear	Nonlinear	Nonlinear

DOF: degree of freedom

Table 2. Various equation solving methods for finite element analysis

	Determined system	Over-determined system	Under-determined system
Model updating method	Direct	Direct	Iterative
Hypothesis	Linear/Non-linear	Linear/Non-linear	Impossible
Equation solving	Implicit/Explicit	Implicit/Explicit	Explicit

Geng 등²¹⁾은 임플란트 연구에서 유한요소분석을 도입할 때 임플란트의 입체적 형태(geometry), 물성, 경계조건 및 골과 임플란트의 계면조건 설정 등이 골에 대한 응력분산에 큰 영향을 미친다고 하였다. 하지만 최근에는 유한요소 해석방법을 다양하게 적용하여 골에 미치는 응력 뿐 아니라 개별 구성요소에 미치는 영향도 분석이 가능하며 유지나사에 대한 전하중(preload)을 조건으로 설정하는 동적인 해석까지 가능해졌다. Table 1과 2는 해석방법의 장단점과 한계를 요약한 것이다.

유한요소분석을 이용하여 부적합을 평가한 연구를 살펴보면, Kunavisarut 등²²⁾은 부적합의 유무 및 위치에 따른 응력을 분석하였는데 상부보철물과 나사에 응력이 주로 집중되었고, 부적합이 있는 경우 응력이 증가하였으며, 특히 하중이 가해지는 위치와 가까운 곳에 부적합이 존재할 때 더 큰 응력집중이 나타난다고 하였다. Assuncao 등²³⁾은 부적합의 존재 유무 및 존재 양상에 따른 영향을 분석하였는데 100 μm 정도의 부적합이 존재하면 임플란트 본체(40%)와 유지나

사(7%)에서 응력이 증가되었으며, 탄성계수가 높은 상부보철물을 사용하는 것이 더 양호한 응력분포를 나타낼 수 있다고 주장하였다. Dos Santos 등²⁴⁾은 2개 임플란트를 이용한 바(bar type)형 피개의치에서 부적합의 정도와 클립 재료에 따른 응력의 차이를 유한요소분석으로 평가하였는데 부적합이 증가하면 유지나사에 응력이 증가하며 금 클립일 때 플라스틱 클립보다는 응력이 더 증가한다고 하였다. Winter 등²⁵⁾은 부적합이 있으면 임플란트의 미세동요를 유발하고 응력 증가를 초래한다고 하였다.

유한요소 분석의 장점은 복잡한 구조 중 어떤 개별 요소에 응력이 집중되는지 알 수 있으며, 광탄성 응력 분석과 달리 일정하지 않은 골 구조나 공간적인 배치를 고려할 수 있다는 것이다. 앞서 설명했듯이 전하중을 주는 것도 가능하며 동적 선형 해석을 통해 시간에 따른 응력변화까지 해석할 수 있게 되어 정교한 분석이 가능하다. 하지만 실험할 때 설정한 조건이나 전제 조건 등에 매우 민감하다. 예를 들면 피질골과 해면골을 가정하고 임플란트가 골과 완전 융합된 계면조건을

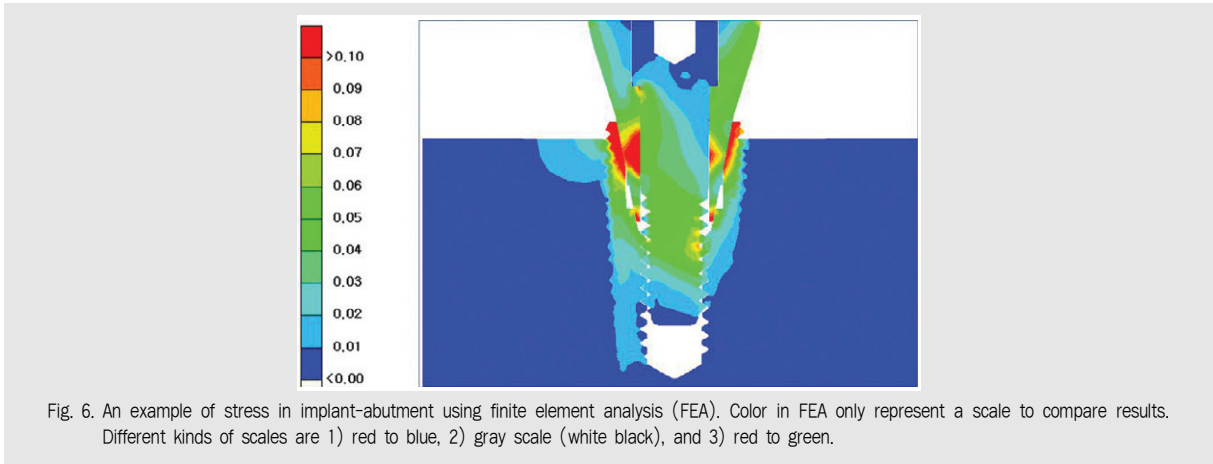


Fig. 6. An example of stress in implant-abutment using finite element analysis (FEA). Color in FEA only represent a scale to compare results. Different kinds of scales are 1) red to blue, 2) gray scale (white black), and 3) red to green.

설정하면 대부분의 하중은 최상방 2-3 mm 이내로 제한적인 결과를 나타낼 수밖에 없다. 따라서 실제 임상과 맞지 않는 전제조건을 설정하지 않는지 충분히 고려해야 한다.

3. 스트레인 게이지 분석 (strain gauge analysis)

스트레인 게이지 분석은 스트레인 게이지를 실제 임플란트 구성요소에 부착하여 임플란트에 가해지는 응력의 정도를 측정하는 방법이다(Fig. 7). 응력을 측정하고 싶은 부위에 스트레인 게이지를 붙이고 얇은 철사가 위로 나오게 한 후 측정 기구와 연결하여 하중을

가한 다음 발생한 응력을 μe 단위로 측정한다.

Brosh 등²⁶⁾은 광탄성 응력분석과 스트레인 게이지 분석을 동시에 시행한 후, 광탄성 응력분석으로는 골에 가해지는 응력을 개략적으로 알 수 있는 반면, 스트레인 게이지 분석은 임플란트 표면에 가해지는 정확한 값을 분석할 수 있다고 하였다. 즉, 주변골이 아닌 임플란트 구성요소에 나타나는 응력분석이 가능하다는 것이다. Watanabe 등⁵⁾은 상부보철물 제작 방법과 나사를 잠그는 순서에 따라 다른 응력이 나타났으며 부적합이 있을 때는 나사를 잠그는 순서에 따라서도 다른 응력분포를 보인다고 하였다. Abduo 등²⁷⁾은 임플란트 본체 주변에 스트레인게이지를 부착하여 응력을 분석하였는데, 상부보철물의 재료보다는 부적합의

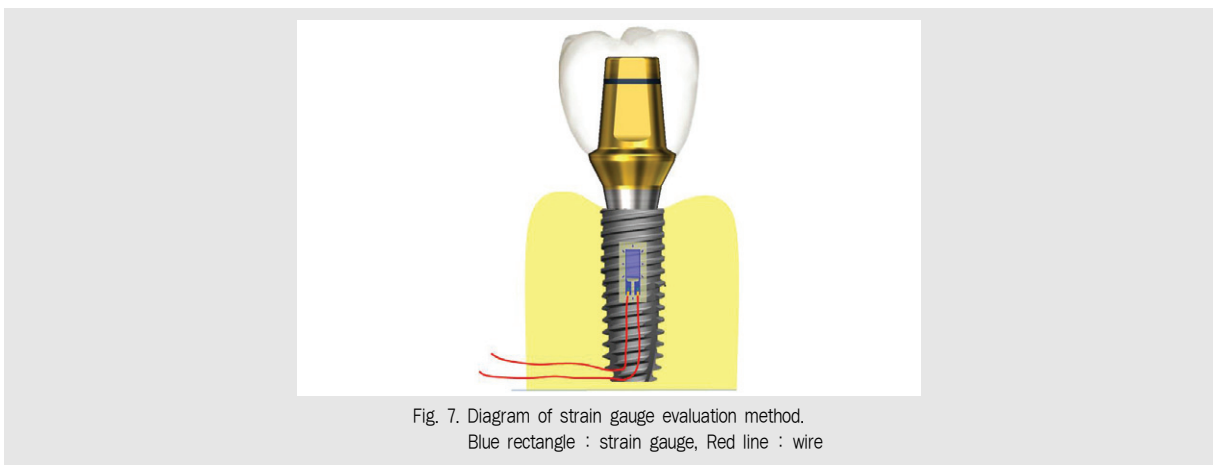


Fig. 7. Diagram of strain gauge evaluation method. Blue rectangle : strain gauge, Red line : wire

정도가 응력발생에 더 큰 영향을 준다고 하였다. De Vasconcellos 등²⁸⁾은 임플란트 상부보철물에 도재를 축성할 때 소성과정이 금속구조물의 부적합에 미치는 영향을 분석한 후 고온에서 소성하면 상당한 응력과 부적합을 야기하고 전열처리를 통해 부적합으로 인한 응력을 줄일 수 있다고 하였다. Tahmaseb 등²⁹⁾은 적합이 우수한 임플란트 보철물과 부적합이 있는 보철물을 광학 스캔분석(optical scan analysis)으로 평가한 결과를 스트레인 게이지 분석으로 확인하였는데 두 방법 모두 부적합을 평가하는데 효과적이라고 하였다.

스트레인 게이지 분석법은 골조직이나 임플란트 표면에 응력이 가해지는 정도를 분석할 수 있다. 하지만 정상적인 하중이 가해질 때 골이 나타내는 응력수치가 50~1500 μE 정도로 광범위하며, 임플란트 표면에서도 조건에 따라 150~800 μE 까지 응력수치가 나타난다. 즉, 측정조건에 너무 민감하여 게이지의 부착위치, 부착방법 및 실험실 환경에 따라 결과가 크게 달라진다는 단점이 있어 그 결과를 해석할 때 더 신중해야 할 필요성이 있다.

4. 미생물 군체 분석법(microbial colonization analysis)

미생물 군체 분석법은 임플란트 본체와 상부보철물을 연결한 후 미생물이 포함된 용액에서 배양하여 부적합이 있을 때 미생물이 군체를 형성할 것이라는 가정 하에 분석하는 방법이다. 상부보철물을 장착하기 전에 멸균을 시행하고 장착 후 내면의 미생물 군체의 양을 측정하거나 DNA 분석을 시행한다.

Do Nascimento 등³⁰⁾은 외부연결형과 내부연결형 임플란트에서의 미생물 군체를 비교하였는데 외력이 강한 곳에서 부적합이 존재하는 경우 상부보철물의 움직임이 커서 미생물이 배양될 확률이 높다고 하였다. 또한 같은 정도의 부적합이 존재하는 경우를 비교하였

는데, 내부연결형 임플란트에서는 군체가 나타나지 않았고 외부연결형 임플란트에서만 군체가 나타났다고 하였다. Teixeira 등³¹⁾은 내부연결형 임플란트와 Morse taper 임플란트에서 배양하기 쉬운 치주염 병원 균주인 *S. aureus*를 사용하여 분석하였는데 부적합과 관계없이 미생물의 이동은 막을 수 없었으며 임플란트 종류는 미생물 누출 정도에 영향을 미치지 않는다고 하였다. Piattelli 등³²⁾은 나사유지형 임플란트와 시멘트유지형 임플란트를 분석하였는데 나사유지형 임플란트 내면에서만 미생물 반응이 발견되었다고 하였다. Do Nascimento 등³³⁾은 임플란트 종류(외부연결형, 내부연결형, Morse taper)와 하중 여부를 변수로 미생물 군체 분석하였는데 Morse taper 임플란트에서 가장 적은 수의 미생물이 나왔고, 하중을 가할 경우 더 많은 미생물이 발견된다고 하였다. 같은 연결부를 가진 임플란트를 이용하여 분석하여도 이렇게 다양한 결과가 발생하는 것은 실험방법에 따라 결과가 달라질 수 있다는 것이므로 결과해석에 주의해야 한다.

미생물 군체 분석은 미생물 통과 여부로 인한 군체 형성을 분석하여 부적합을 파악하는 간접적인 분석방법이다. 실제 임플란트 주위염 등에 영향을 주는 미생물로 실험해 볼 수 있으며 임상결과에도 적용할 수 있기는 하지만, 실험조건에 따라 결과가 달라지므로 그 정확도는 재고해 보아야 한다.

수치법

1. 삼차원 사진 측량법

삼차원 사진 측량법은 임상적 부적합 평가방법과 동일한 방법을 실험실에서 사용하기 때문에 적용의 한계는 거의 없다.

Jemt 등⁴⁾은 상악 임플란트 보철물의 부적합이 하악보다 큰데 이는 악궁의 크기가 더 크기 때문이라고

하였다. 하지만 임상에서는 하악 보철물의 부적합이 더 크기 때문에 실험실에서 실제와 얼마나 비슷한 상황을 부여하는가에 따라 결과가 달라질 수 있다는 것을 감안해야 한다. Lie와 Jemt³⁴⁾는 실험실에서 삼차원 사진 측량법은 중첩점을 잘 지정하면 정확도가 0.03~0.05 mm 정도가 된다고 하면서 이는 임상에서 적용하는 것보다 부적합을 밝히는데 5~10배 정도 정확하다고 하였다. Jemt 등³⁵⁾은 토끼를 이용한 동물 시험에서 삼차원 사진 측량법으로 평가하였을 때, 부적합을 부여한 임플란트 주변골은 100 μ m 이상 변위(displacement) 되기 때문에 장기적으로 보았을 때 임플란트 주변골의 흡수를 야기하는 원인이 될 수도 있다고 주장하였다.

삼차원 사진 측량법은 임플란트의 위치를 삼차원 좌표로 옮겨 분석하기 때문에 실험실에서 적용하면 높은 정확성을 보이며 직선거리의 변위 및 각도의 변위까지 측정할 수 있는 장점이 있으나 장비활용의 문제나 사진 촬영위치의 표준화 등으로 인해 최근에는 거의 사용되지 않고 있다.

2. 삼차원 좌표 측정법(coordinate measuring machine analysis)

삼차원 좌표 측정법은 직교 좌표계의 움직임을 갖는

측정기(probe)로 이루어진 삼차원 좌표 측정기를 이용하여 임플란트의 위치를 측정하는 방법으로 측정기를 임플란트에 접촉시켜서 정보를 삼차원 좌표로 옮기는 방법이다(Fig. 8). 상부보철물 장착 전후의 임플란트 위치를 측정하면 상부보철물과 임플란트 사이의 부적합을 분석할 수 있다.

Chia 등³⁶⁾은 일반적인 인상채득 방법과 구강스캐너를 이용한 디지털 스캔방법의 정확성을 삼차원 좌표 측정법을 이용하여 비교하였는데 두 방법의 정확성은 비슷한 정도이며 구강스캐너의 경우 임플란트의 식립 각도에 따른 정확도의 차이가 없었지만 기존 인상채득 방법은 식립각도에 의해 정확도 차이가 있다고 하였다. Geramipanah 등³⁷⁾은 임플란트 인상채득 시 한 악 전체를 채득하는 경우와 부분 악만 채득하는 경우, 임플란트 본체 수준의 인상채득과 지대주 수준 인상채득하는 경우를 변수로 하여 그 정확도를 삼차원 좌표법으로 측정하였는데 인상채득의 범위가 좁고 지대주 수준에서 채득할수록 오차가 더 적다고 하였다. Eliasson 등³⁸⁾은 CNC 가공한 임플란트 상부보철물의 부적합을 평가하기 위해 삼차원 좌표 분석법을 사용하였는데 주조법보다 오차가 더 적다고 하면서 일반적으로 수직적 오차보다는 수평적 오차가 더 크게 나타난다고 하였다.

삼차원 좌표 측정법은 상당히 정확한 방법이지만 결

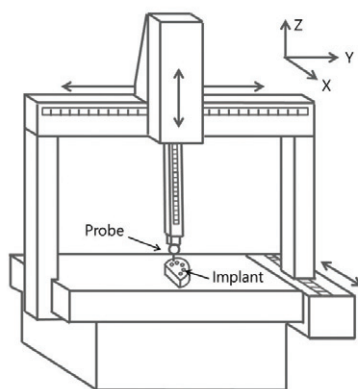


Fig. 8. Diagram of coordinate measuring machine analysis. Probe can be moved in x, y, and z axis (anywhere).

과적인 부적합만 판별할 수 있을 뿐 어떤 원인에 의해 부적합이 초래되었는지 확인하기는 어려우며, 비싼 장비를 갖추어야하기 때문에 널리 사용되기에는 한계가 있다.

3. 현미경 분석법(microscope analysis)

현미경 분석법에는 광학입체현미경(optical stereomicroscope)이나 주사전자현미경(scanning electron microscope)으로 임플란트 본체와 상부보철물 사이 부적합을 측정한다. 광학현미경은

해상도의 발달로 정교하고 분석하고자 하는 시편을 자를 필요가 없으며 입체적인 형태를 분석할 수 있으나, 중첩이나 구조상의 한계로 계면을 가린다면 분석할 수 없다(Fig. 9). 주사전자현미경은 신뢰도가 높고 계면을 가장 잘 보여줄 수 있는 장점이 있지만, 분석을 위해 시편에 대한 금피복 등 전처리를 해야 하며 내부 연결형 임플란트는 부적합을 평가할 수 없어 절단할 경우에는 시편이 훼손될 가능성을 감수해야 한다(Fig. 10).

Alvarez 등³⁹⁾은 2개 임플란트를 바(bar)로 연결할 때의 납착방식(soldering method)에 따른 부적합

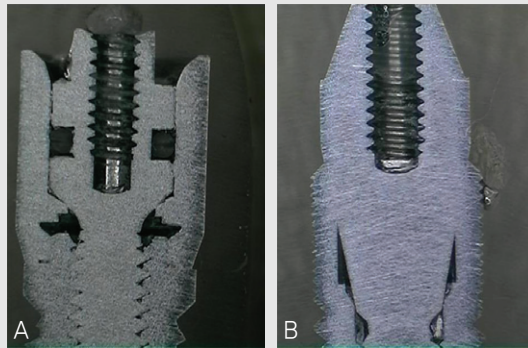


Fig. 9. Stereomicroscopic analysis on the misfit of implant-abutment complex. (A) More space can be found in external implant, (B) Tight contact can be found in Internal implant.

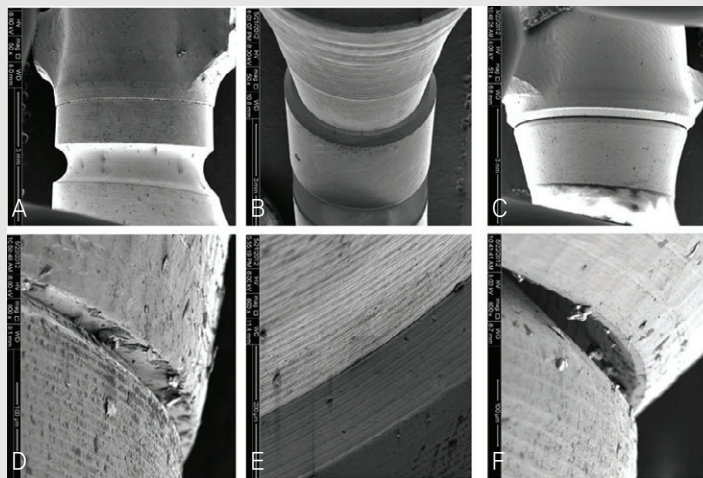


Fig. 10. Scanning electron microscopic analysis on the misfit on implant-abutment complex. (A) External implant (original image X 50), (B) Internal implant (original image X 50), (C) Morse taper implant (original image X 50), (D) External implant (original image X 800), (E) Internal implant (original image X 800), (F) Morse taper implant (original image X 800).

의 차이를 광학현미경으로 분석하였는데 토치 납작(torch soldering) 방식이 소성로 납작(ceramic furnace soldering) 방식보다 더 큰 부적합을 야기한다고 하였다. Spazzin 등⁴⁰⁾은 상부보철물 제작 방식에 따른 부적합의 정도를 광학현미경으로 분석하여 1-piece 구조법이 시멘트로 합착하는 경우나 레이저 용접하는 방법보다 수직적 부적합이 크다고 주장하였다. Katsoulis 등⁴¹⁾은 CAD-CAM으로 제작한 나사 유지형 상부보철물의 길이에 따른 정확도를 주사전자 현미경으로 분석하였는데 보철물 길이(span)가 짧은 것이 긴 것에 비해 정확도가 유의미하게 높았으며 모든 경우 임상적으로 허용할 만한 오차를 보인다고 하였다. Katsoulis 등⁴²⁾은 CAD-CAM으로 제작한 전악보철물의 부적합도 비교하였는데 구조한 상부보철물은 임상에서 사용하기에 부적절할 정도의 부적합을 가지며 CAD-CAM으로 제작한 상부보철물은 높은 정확성을 보인다고 하였다.

현미경 분석법은 정확성이 높고 이미 오래전부터 사용하던 방법이므로 다양한 결과를 분석하는 보조적인 방법으로 널리 이용된다. 하지만 외부연결형 임플란트나 Morse taper 임플란트에서의 부적합은 분

석하기 쉬우나 내부연결형 임플란트는 분석하기 어렵다. 또한 절단이 필요한 경우가 많아 입체적인 부적합보다는 한 단면의 부적합을 파악하는데 더 적합한 방법이다.

4. 방사선 분석법(radiographic analysis)

방사선 분석법은 임상에서도 사용되지만 실험실에서 부적합을 평가하는데 이용되는 미세단층촬영 분석법(Micro CT)과 싱크로트론 분석법(Synchrotron analysis)을 고찰해 보면 다음과 같다.

미세단층촬영은 방사선을 여러 각도로 조사하여, 처음 조사한 방사선의 양과 통과한 방사선 양의 차이를 측정하는 촬영 기술로, 여러 각도로 조사하여 사이노그램(sinogram)을 얻고 이를 라돈 변환을 이용하여 흡수된 방사선 양의 적분 값을 구해 3차원적으로 표현하는 것이다. 미세단층촬영 분석법은 3차원적으로 재조합하여 부적합을 분석할 수도 있고 2차원적인 평면에서의 부적합 분석도 가능하다(Fig. 11)⁴³⁾.

Rodrigues 등⁴⁴⁾은 광학현미경을 이용하여 2차원적 부적합을 측정하고, 미세단층촬영을 통해 3차원적

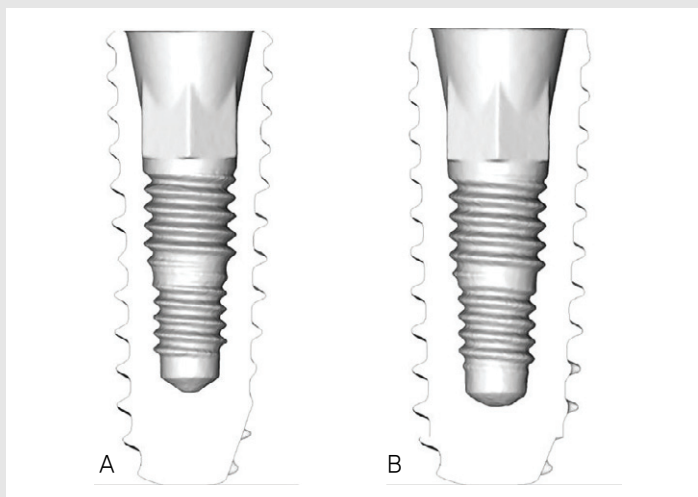


Fig. 11. Micro-CT evaluation of internal structure of compatible implant systems which having similar size and diameter. Although (A) company implant and (B) company implant have similar shape and morphology, exact screw pitch and size are differed by system.

부적합을 측정하였는데, 두 방법 모두 부적합을 발견하는데 효과적으로 이용할 수 있었고, 측정한 부적합의 정도와 스트레인 게이지 분석에서 나타나는 응력이 비례한다고 하였다. Meleo 등⁴⁵⁾은 세 가지 종류의 내부연결형 임플란트를 미세단층촬영을 통하여 임플란트 본체와 상부보철물 사이의 부피를 계산하여 부적합 정도를 분석하였는데 부적합의 2차원적 요소(길이, 높이)를 통해 기하학적 계산으로 구한 부적합 값과 비슷한 경향을 보인다고 하였다.

싱크로트론은 단파장의 광속 입자를 이용하는데 임플란트와 상부보철물을 통과한 광속 입자가 신틸레이터(scintillator)에 도달하여 상을 보이게 하고 신틸레이터 두께가 해상도의 한계를 결정하는 방법이다(Fig. 12). 싱크로트론 분석법을 사용하여 2차원적인 임플란트 본체와 상부보철물 간의 부적합을 발견하기도 한다.

Blum 등⁴⁶⁾은 하중을 가하기 전과 하중을 가한 후의 임플란트 본체와 상부보철물 간의 부적합을 싱크로트론을 이용하여 분석하였는데 하중을 가하기 전에도 모든 계면에서는 공차가 존재하였고 하중을 가할 경우 공차의 크기가 더 커진다고 하였다. Rack 등⁴⁷⁾은 내부연결형 임플란트에 하중을 가하면서 임플란트 본체

와 상부보철물 간의 부적합을 싱크로트론을 이용하여 분석하였는데 하중이 증가하면서 공차가 점점 커졌고 치근단 방사선 사진으로는 발견할 수 없던 공차를 발견할 수 있다고 하였다.

싱크로트론과 미세단층촬영 등 실험실에서 사용하는 방사선분석법은 시편을 훼손하지 않고 부적합을 분석할 수 있다는 장점이 있다. 싱크로트론은 정확도가 4 μm 로 아주 정교하지만 장비를 필요로 하고 분석의뢰 비용도 고가인 단점이 있다. 미세단층 촬영의 경우 2차원적 분석이 가능하고, 재건한 후 부피를 측정하면 3차원적으로 분석할 수도 있는데 이러한 분석을 시행할 경우 구조상 원래 비어있는 부분과 임플란트-지대주 간의 부적합을 잘 분간하는 것이 필요하다.

IV. 요약

임플란트와 지대주 간에 허용가능한 적합도를 넘는 부적합을 발견하고 이에 대처하는 것은 중요한 과제이다. 부적합을 임상에서 평가하고 발견하는 방법은 대부분 부적합의 정성적 평가에 치중하고 있으며 술자의 숙련도에 의존하고 있어 정확한 평가방법이라고 하기는 어렵다. 부적합의 정도를 판단하고 원인을 실험적

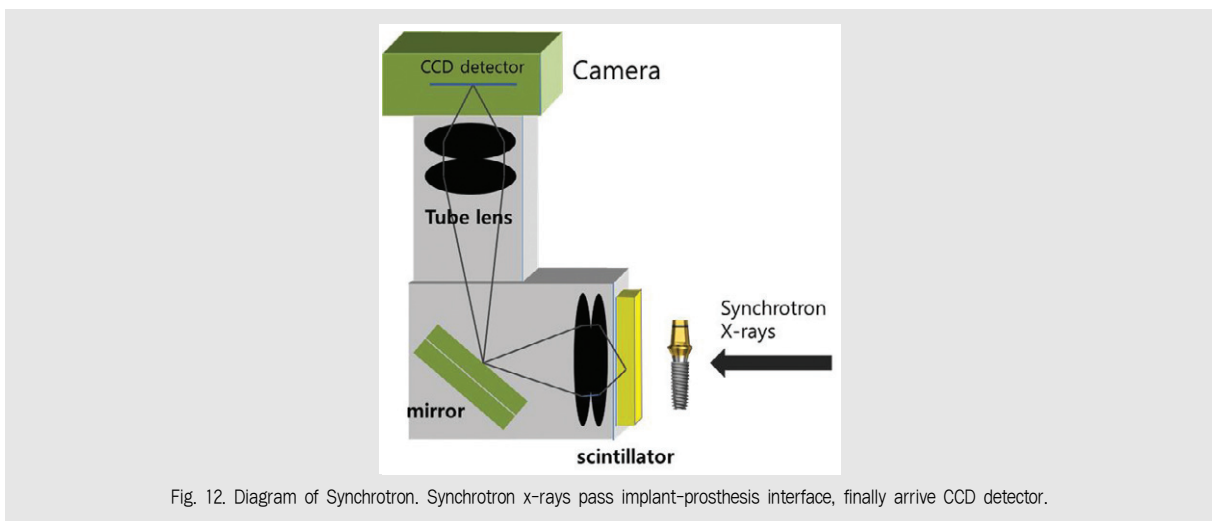


Fig. 12. Diagram of Synchrotron. Synchrotron x-rays pass implant-prosthesis interface, finally arrive CCD detector.

으로 분석하는 방법 중 본 문헌고찰에서는 광탄성 분석법, 유한요소분석법, 스트레인게이지, 미생물 균체 분석 등 조건을 모형화하여 분석하는 모형화법과 사진 측량, 삼차원 좌표 측정, 현미경분석 및 방사선분석을 통해 부적합의 정도를 정밀하게 측정하는 수치법을 각각 설명하고 그 장단점 및 적용의 한계를 분석하였다.

지금까지 살펴본 실험실 부적합 평가 방법들을 장, 단점 및 정확도와 재현성을 기준으로 표로 정리한 것이 Table 3이다. 어떤 방법도 모든 경우에 적용할 수 있을 정도로 완벽하지는 않으므로 평가하고자 하는 부적합의 특성에 따라 적절한 평가방법을 선택하여 적용하는 것이 필요하다고 사료된다.

Table 3. Summary of laboratory in vitro evaluation methods

	Method	Advantages	Disadvantages	Accuracy	Reproducibility
Modelling evaluation	Photoelastic stress analysis	Visualize stress difference	Unable to identify direct stress	**	**
	Finite element analysis	Analyze every component	Expensive, sensitive to conditions	***	***
	Strain gauge analysis	Identify direct stress	Sensitive to conditions	**	*
	Microbial colonization analysis	Can experiment with organisms that actually affect	Hard to set conditions	*	*
Metrological visualization	3-D photogrammetric analysis	High accuracy with three-dimensional coordinates	Difficult to set regular location	**	*
	Coordinate measuring analysis	Excellent reproducibility and accuracy	Expensive	***	***
	Microscopic analysis	Simple experimental methods	Often require cut of specimen	**	**
	Radiographic analysis	Analyze without damaging specimen	Expensive, superposition	**	**

참고 문헌

1. Jemt T, Rubenstein JE, Carlsson L, Lang BR. Measuring fit at the implant prosthodontic interface. *J Prosthet Dent* 1996;75:314-325
2. Jimbo R, Halldin A, Janda M, Wennerberg A, Vandeweghe S. Vertical fracture and marginal bone loss of internal-connection implants: a finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013;28:e171-176
3. Cha HS, Kim YS, Jeon JH, Lee JH. Cumulative survival rate and complication rates of single-tooth implant; Focused on the coronal fracture of fixture in the internal connection implant. *J Oral Rehabil* 2013;40:595-602
4. Branemark P. Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent* 1983;50:399-410
5. Watanabe F, Uno I, Hata Y, Neuendorff G, Kirsch A. Analysis of stress distribution in a screw-retained implant prosthesis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:209-218
6. Jemt T, Book K. Prosthesis misfit and marginal bone loss in edentulous implant patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:620-625
7. Kosyfaki P, del Pilar Pinilla Martin M, Strub JR. Relationship between crowns and the periodontium: a literature update. *Quintessence Int* 2010;41:109-126.
8. Katsoulis J, Takeichi T, Sol Gaviria A, Peter L, Katsoulis K. Misfit of implant prosthesis and its impact on clinical outcomes. Definition, assessment and a systematic review of the literature. *Eur J Oral Implantol* 2017;10:121-138
9. Sharkey S, Kelly A, Houston F, O' Sullivan M, Quinn F, O'connell B. A Radiographic analysis of implant component misfit. *Int J oral Maxillofac Implants* 2011;26:807-815
10. Hayashi M, Watts DC, Ebisu S, Wilson NH. Influence of vision on the evaluation of marginal discrepancies in restorations. *Oper Dent* 2005;30:598-601
11. Hayashi M, Wilson NH, Ebisu S, Watts DC. Influence of explorer tip diameter in identifying restoration margin discrepancies. *J Dent* 2005;33:669-674
12. Kan JY, Rungcharassaeng K, Bohsali K, Goodacre CJ, Lang BR. Clinical methods for evaluating implant framework fit. *J Prosthet Dent* 1999;81:7-13
13. Jemt T. Failures and complications in 391 consecutively inserted fixed prostheses supported by Branemark 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;6:270-276.
14. Jemt T, Lie A. Accuracy of implant-supported prostheses in the edentulous jaw: analysis of precision of fit between cast gold-alloy frameworks and master casts by means of a three dimensional photogrammetric technique. *Clin Oral Implants Res* 1995;6:172-180
15. Abduo J, Bennani V, Waddell N, Lyons K, Swain M. Assessing the fit of implant fixed prostheses: A critical review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25:506-515
16. Lee JI, Lee Y, Kim YL, Cho HW. Effect of implant number and distribution on load transfer in implant-supported partial fixed dental prostheses for the anterior maxilla: A photoelastic stress analysis study. *J Prosthet Dent* 2016;115:161-169
17. Lencioni KA, Macedo AP, Silveira Rodrigues RC, Ribeiro RF, Almeida RP. Photoelastic comparison of as-cast and laser-welded implant frameworks. *J Prosthet Dent* 2015;114:652-659
18. Lee JI, Lee Y, Kim NY, Kim YL, Cho HW. A photoelastic stress analysis of screw- and cement-retained implant prostheses with marginal gaps. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013;15:735-749
19. de Torres EM, Barbosa GA, Bernardes SR, de Mattos Mda G, Ribeiro RF. Correlation between vertical misfits and stresses transmitted to implants from metal frameworks. *J Biomech* 2011;44:1735-1739
20. Termeie D, Klokkevold PR, Caputo AA. Effect of implant diameter and ridge dimension on stress distribution in mandibular first molar sites-A photoelastic study. *J Oral Implantol* 2015;41:e165-

참 고 문 헌

- 173
21. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 2001;85:585-598
 22. Kunavisarut C, Lang LA, Stoner BR, Felton DA. Finite element analysis on dental implant-supported prostheses without passive fit. *J Prosthodont* 2002;11:30-40
 23. Assuncao WG, Gomes EA, Rocha EP, Delben JA. Three-dimensional finite element analysis of vertical and angular misfit in implant-supported fixed prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:788-796
 24. Dos Santos MB, Zen BM, Bacchi A. Effect of vertical misfit and clip material on stress distribution of overdentures under masticatory loading. *Med Biol Eng Comput* 2016;54:1515-1521
 25. Winter W, Taylor TD, Karl M. Bone adaptation induced by non-passively fitting implant superstructures: A finite element analysis based on in vivo strain measurements. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:1288-1295
 26. Brosh T, Pilo R, Sudai D. The influence of abutment angulation on strains and stresses along the implant/bone interface: Comparison between two experimental techniques. *J Prosthet Dent* 1998;79:328-334
 27. Abduo J, Swain M. Influence of vertical misfit of titanium and zirconia frameworks on peri-implant strain. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:529-536
 28. De Vasconcellos DK, Ozcan M, Maziero Volpato CA, Bottino MA, Yener ES. Strain gauge analysis of the effect of porcelain firing simulation on the prosthetic misfit of implant-supported frameworks. *Implant Dent* 2012;21:225-229
 29. Tahmaseb A, Mercelis P, de Clerck R, Wismeijer D. Optical scan analysis to detect minor misfit on implant-supported superstructures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:1344-1350
 30. Nascimento Cd, Ikeda LN, Pita MS, Pedroso e Silva RC, Pedrazzi V, Albuquerque RF, Ribeiro RF. Marginal fit and microbial leakage along the implant-abutment interface of fixed partial prosthesis: An in vitro analysis using checkerboard DNA-DNA hybridization. *J Prosthet Dent* 2015;114:831-838
 31. Teixeira W, Ribeiro RF, Sato S, Pedrazzi V. Microleakage into and from two-stage implants: An in vitro comparative study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:56-62
 32. Piattelli A, Scarano A, Paolantonio M, Assenza B, Leghissa GC, Di Bonaventura G, Catamo G, Piccollomini R. Fluids and microbial penetration in the internal part of cement-retained versus screw-retained implant-abutment connections. *J Periodontol* 2001;72:1146-1150
 33. do Nascimento C, Miani PK, Pedrazzi V, Goncalves RB, Ribeiro RF, Faria AC, Macedo AP, de Albuquerque RF Jr. Leakage of saliva through the implant-abutment interface: in vitro evaluation of three different implant connections under unloaded and loaded conditions. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:551-560
 34. Lie A, Jemt T. Photogrammetric measurements of implant positions. Description of a technique to determine the fit between implants and superstructures. *Clin Oral Implants Res*;5:30-36
 35. Jemt T, Lekholm U. Measurements of bone and frame-work deformations induced by misfit of implant superstructures. A pilot study in rabbits. *Clin Oral Implants Res* 1998;9:272-280
 36. Chia VA, Esguerra RJ, Teoh KH, Teo JW, Wong KM, Tan KB. In vitro three-dimensional accuracy of digital implant impressions: The effect of implant angulation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017;32:313-321
 37. Geramipناه F, Sahebi M, Davari M, Hajimahmoudi M, Rakhshan V. Effects of impression levels and trays on the accuracy of impressions taken from angulated implants. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:1098-1105
 38. Eliasson A, Wennerberg A, Johansson A, Ortorp A, Jemt T. The precision of fit of milled titanium implant frameworks in the edentulous jaw. *Clin*

참 고 문 헌

- Implant Dent Relat Res 2010;12:81-90
39. Alvarez A, Lafita P, de Lianos H, Gago A, Brizuela A, Ellacuria JJ. A comparison of two soldering techniques on the misfit of bar-retained implant-supported overdentures. *J Prosthodont* 2014;23:163-170
40. Spazzin AO, Bacchi A, Trevisani A, Farina AP, Dos Santos MB. Fit analysis of different framework fabrication techniques for implant-supported partial prostheses. *Int J Prosthodont* 2016;29:351-353
41. Katsoulis J, Muller P, Mericske-Stern R, Blatz MB. CAD/CAM fabrication accuracy of long- vs. short-span implant-supported FDPs. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:245-249
42. Katsoulis J, Mericske-Stern R, Rotkina L, Zbaren C, Enkling N, Blatz MB. Precision of fit of implant-supported screw-retained 10-unit computer-aided - designed and computer-aided-manufactured frameworks made from zirconium dioxide and titanium: an in vitro study. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:44-49
43. Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT: state of the art. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140224
44. Rodrigues SA, Presotto AGC, Barao VAR, Consani RLX, Nobilo MAA, Mesquita MF. The role of welding techniques in the biomechanical behavior of implant-supported prostheses. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 2017;78:435-442
45. Meleo D, Baggì L, Di Girolamo M, Di Carlo F, Pecci R, Bedini R. Fixture-abutment connection surface and micro-gap measurements by 3D micro-tomographic technique analysis. *Ann Ist Super Sanita* 2012;48:53-58
46. Blum K, Wiest W, Fella C, Balles A, Dittmann J, Rack A, Maier D, Thomann R, Spies BC, Kohal RJ, Zabler S, Nelson K. Fatigue induced changes in conical implant-abutment connections. *Dent Mater* 2015;11:1415-1426
47. Rack A, Rack T, Stiller M, Riesemeier H, Zabler S, Nelson K. In vitro synchrotron-based radiography of micro-gap formation at the implant-abutment interface of two-piece dental implants. *J Synchrotron Radiat* 2010;17:289-294