



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



2
0
1
0
년
8
월

박
사
학
위
논
문

피
로
파
절
특
성
에
미
치
는
임
플
란
트
지
대
주
나
사
의
코
팅
영
향

2010년 8월
박사학위논문

피로파절특성에 미치는 임플란트 지대주나사의 코팅영향

조선대학교 대학원
의학과
이충환

피로파절특성에 미치는 임플란트 지대주나사의 코팅영향

Coating Effect of Implant Abutment Screw on the
Fatigue Fracture Characteristics

2010 年 8月 25日

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 충 환

피로파절특성에 미치는 임플란트 지대주나사의 코팅영향

지도교수 정재현

이 논문을 치의학 박사학위 논문으로 제출함.

2010년 4월 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 총 환

이충환의 박사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 강동완인

위원 조선대학교 교수 정재현인

위원 조선대학교 교수 최한철인

위원 연세대학교 교수 정승미인

위원 조선대학교 교수 손미경인

2010년 6월 일

조선대학교 대학원

목 차

영문초록	vii
I. 서 론	1
II. 연구재료 및 방법	3
III. 연구성적	8
IV. 총괄 및 고안	25
V. 결 론	31
참고문헌	33

표 목 차

Table 1. The coating conditions of TiN and WC film 5

도 목 차

Fig. 1. Photographs of fixture, abutment and abutment screw. (a) abutment, (b) fixture, (c) abutment screw and (d) metal cap for fatigue test	3
Fig. 2. The schematic diagrams of EB-PVD and sputtering equipment	4
Fig. 3. The schematic diagrams of implant system and compression test for fracture force	6
Fig. 4. The schematic diagrams of cyclic loading apparatus and condition	7
Fig. 5. Photos and EDS peaks showing the non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw	9
Fig. 6. SEM showing the non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw surface. (a) top, (b) flank, (c) valley	9
Fig. 7. Mean fatigue life of the non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw at 420N	11
Fig. 8. Measurements of displacement during cyclic testing for non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw at 420N	11

Fig. 9. Upper and lower stress of non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw during cyclic testing at 420N	12
Fig.10. Mean fatigue life of the non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw at 580N	13
Fig.11. Measurements of displacement during cyclic testing for non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw at 580N	13
Fig.12. Upper and lower stress of non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw during cyclic testing at 580N	14
Fig.13. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured non-coated abutment screw after fatigue test at 420N	17
Fig.14. FE-SEM showing the final fracture surface of non-coated abutment screw after fatigue test at 420N	17
Fig.15. FE-SEM showing the fractured middle surface of non-coated abutment screw and implant fixture after fatigue test at 420N	18
Fig.16. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured TiN-coated abutment screw after fatigue test at 420N	18

Fig.17. FE-SEM showing the final fracture surface of TiN-coated abutment screw after fatigue test at 420N	19
Fig.18. EDS peaks and line profile of fractured TiN-coated abutment screw after fatigue test at 420N	19
Fig.19. FE-SEM showing the fractured middle surface of TiN-coated abutment screw and implant fixture after fatigue test at 420N	20
Fig.20. EDS peaks and line profile of fractured WC-coated abutment screw after fatigue test at 420N	20
Fig.21. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured WC-coated abutment screw and implant fixture after fatigue test at 420N	21
Fig.22. FE-SEM showing the fractured middle surface of WC-coated abutment screw after fatigue test at 420N	21
Fig.23. FE-SEM showing the fractured middle surface of WC-coated abutment screw and implant fixture after fatigue test at 420N	23
Fig.24. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured TiN-coated abutment screw after fatigue test at 580N	23

Fig.25. FE-SEM showing the fractured middle surface of TiN-coated abutment screw after fatigue test at 580N 23

Fig.26. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured WC-coated abutment screw after fatigue test at 580N 23

Fig.27. FE-SEM showing the fractured middle surface of WC-coated abutment screw after fatigue test at 580N 24

ABSTRACT

Coating Effect of Implant Abutment Screw on the Fatigue Fracture Characteristics

Lee, Chung-Hwan, D.D.S., M.S.D.

Director : Prof. Chung, Chae-Heon, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Dentistry,

Graduate School of Chosun University

Dental implant systems are subject to failure in the screw connection part which can occur due to screw loosening or fracture. For solving the problem of loosening, some researchers had carried out the TiN(titanium nitride) and WC(tungsten carbide) coating on the abutment screw, while fatigue failure may still be not researched as an issue of coating materials.

In this study, fatigue test was performed to estimate the coating effects of abutment screw for implant system according to the ISO 14801. For this purpose, TiN and WC film coating was carried out on the abutment screw using EB-PVD and sputtering, respectively. In order to observe the coating surface of abutment screw, surfaces of specimens were observed by field emission scanning electron microscope(FE-SEM) and energy dispersive x-ray spectroscopy(EDS). For the fatigue test, the implant fixture and abutment were tightened to a torque 32Ncm using digital torque gauge with a 0.1Ncm accuracy. The fatigue tests were carried out

according to the ISO 14801. Each prepared samples were fixed to uniaxial sinusoidal cyclic loading machine(ADT-AV01k1, Shimadzu, Japan) under load control between 42–420N and 58–580N. Fractured surface was observed with FE-SEM.

1. The surface coated with TiN and WC showed the smooth surface at top, flank, valley of abutment screw. Whereas, the many scratches formed by the machine were observed on the surface of non-coated abutment screw.
2. The fatigue life of implant system used TiN(826,523 cycle) and WC(1,000,000 cycle) coated abutment screw was found to be relatively longer compared to 587,807 cycle of non-coated abutment screw at 420N. Whereas, fatigue life(41,451 cycle) of TiN coated sample showed longer than that of other samples.
3. From results of fatigue test at 420N, fatigue striations were showed on the fractured surface of non-coated abutment screw. The semi-cleavage surface was mainly observed on the TiN coated surface. Whereas, the fracture surface of semi-cleavage and ductile showed on the WC coated surface.
4. From results of fatigue test at 580N, the semi-cleavage surface was mainly observed on the TiN coated surface at crack initiation step, and fatigue striations were regularly appeared at crack propagation step with striation thickness of $0.5\mu\text{m}/\text{cycle}$. Whereas, In the case of WC coated abutment screw, slipbands and cracks moved into center of fracture surface with striation thickness of a few $\mu\text{m}/\text{cycle}$ through three step of fracture; brittle crack pop-in and arrest, fatigue crack growth, and final ductile fracture.

It is considered that the fracture behavior of abutment screw depended on coating materials on the abutment screw, and confirmed that TiN coating on the abutment screw can be improved the fatigue property by homogenizing the machined surface.

I. 서 론

치과용 임플란트는 부분 또는 완전 무치악 환자의 보철 수복에 유효한 치료법으로 사용되나 자연치아와는 다른 구조를 가진다. 자연치아는 벌랑질, 상아질, 백악질의 요소가 유기적으로 단일체를 이루고 주위 골조직과는 치주인대를 통해 연결되었으나 임플란트는 매식체에 지대주 및 상부보철물이 지대주 단독 또는 보철물유지 나사로 연결되어있다^{1,2)}. 임플란트 보철물의 나사가 풀리게 되면 보철물과 임플란트 지대주사이에 치면세균막이 침착되며 나사에는 피로응력이 축적되고 기계적인 문제로 상부 보철물의 파절 및 틀니 부착의 유지력 감소, 임플란트 파절이 나타나며 임플란트 지대주 나사의 풀림과 파절 또한 발생한다.³⁾ Adell 등⁴⁾의 보고에 의하면 5년간의 임상적인 연구에서 임플란트 파절률은 3.5%로 비교적 낮으나 지대주 나사의 풀림현상에 기인한다고 하였다.

나사풀림은 나사를 조인 뒤 정착효과로 3주 이내에 나타나는 단기풀림과 진동에 의해 나타나는 장기풀림이 있다.^{5,6)} 이러한 단기 풀림은 나사표면의 거칠기에 의한 영향을 받으며 미세한 거칠기로 나사표면에서 완벽하게 접촉할 수 없을 때 나타난다. 정착효과가 나사의 탄성신장보다 클 때 나사의 접촉력이 상실되어 나사풀림이 발생한다.^{5,6)} 단기 나사풀림은 전하중을 감소시키며 장기풀림의 원인이 될 수도 있다. 장기풀림은 진동에 의하여 발생되는데 이는 인장력을 가진 나사가 용수철과 같이 작용하면서 계면사이에서 조임현상이 진동에너지를 흡수하다가 임계점에 이르면 나사가 풀리게 된다. 진동풀림⁷⁾은 두 단계로 나뉘며 나사결합부 위에 저작력동 외력이 가해져서 나사산 사이에 미세한 미끄러짐이 발생하여 나사의 전하중과 신장력감소를 유발하는 단계와 외력이나 진동에 의해 나사산이 약간 회전하면서 전하중이 임계치 이하로 감소하여 풀림이 발생한다. 결국 유지 나사의 신장과 풀림 및 파절로 임플란트 고정체의 파절로 이어지게 된다.⁸⁻¹⁰⁾

Morgan 등¹¹⁾은 임플란트의 대부분의 파절은 과하중이 아닌 피로에 의해서 파괴되는 것이라고 보고하였다. 균열의 시작과 전파로 인한 임플란트의 파절은 국

부적으로 높은 응력이 집중되면 고정체에 높은 굽힘응력이 발생됨으로써 임플란트가 파절에 이르게 된다.¹²⁾

최근 연구된 TiN(titanium nitride)과 WC(tungsten carbide) 코팅은 반복적인 조임과 풀림의 효과를 높일 수 있고 마찰 계수가 낮아 마찰저항을 최소화하여 표면의 안정성 부여와 동시에 강도를 부여할 수 있다고 보고하였다.¹³⁾ 반복하중하에서 지대주 나사의 풀림과 파절을 막기 위해서는 나사의 강도나 경도를 증가시켜 피로저항을 증가시키는 중요한 인자로 생각되나 나사 표면에 적용되는 코팅의 재료에 따른 피로파절에 대한 저항성에 미치는 영향에 관한 연구는 미미하다.

따라서 본 연구에서는 코팅되지 않은 지대주 나사, TiN 코팅된 지대주 나사, WC 코팅된 지대주 나사를 준비하여 고정체와 반복착탈을 5회까지 시행하여 ISO 14801 규정에 따라 피로시험을 행하여 피로수명을 조사하고 파절단면을 관찰하여 코팅물질이 피로파절에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 연구재료 및 방법

가. 연구재료

a. 코팅용 지대주 나사준비

본 연구에서 지대주 나사의 코팅물질이 임플란트 시스템의 피로파절에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Fig. 1과 같이 external hex type의 고정체, 지대주 및 지대주 나사를 준비하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용된 임플란트 시스템의 각 부분을 보여주는 것으로 (a)는 고정체를, (b)는 지대주를 (c)는 지대주 나사 및 (d)는 피로시험을 위한 금속 캡을 보여 주고 있다.



Fig. 1. Photographs of fixture, abutment and abutment screw. (a) fixture, (b) abutment, (c) abutment screw and (d) metal cap for fatigue test.

Ti-6Al-4V합금으로 제조된 지대주를 준비하여 비교군으로 코팅하지 않은 것 나사 20개를, 또 TiN, 및 WC를 20개씩 코팅한 나사를 풀림/조임을 5회 반복하고 피로파절시험에 사용하였다.

나. 연구방법

a. TiN 및 WC코팅처리

본 연구에서 TiN코팅은 Fig. 2와 같이 EB-PVD(electron beam, Model AEE-650, AMS Co, Korea) 장치를 이용하여 시험편을 장착 후에 진공챔버를 1.0×10^{-6} torr까지 배기시키고 mass flow controller를 이용하여 질소가스를 10~30 sccm으로 공급하였다. 이후 8kW의 power와 450mA의 emission current로 약 30분 동안 구형의 순수 Ti를 흑연 도가니에 장입하고 전자총을 이용하여 코팅두께가 1~3 μ m가 되도록 450°C에서 코팅하였다. WC코팅은 아크-스퍼터(Model AAS-1200, AMS Co, Korea)를 이용하여 타겟으로 WC를 사용하였고, 메탄가스를 반응 가스로 흘려보냈으며 타겟의 출력은 5kW와 250mA의 전류로 5m Torr에서 1~3 μ m두께가 되도록 약 15분간 250°C에서 코팅하였으며 각각의 코팅 조건은 Table 1에 나타내었다. 코팅된 표면은 EDS와 FE-SEM을 이용하여 관찰하였다.

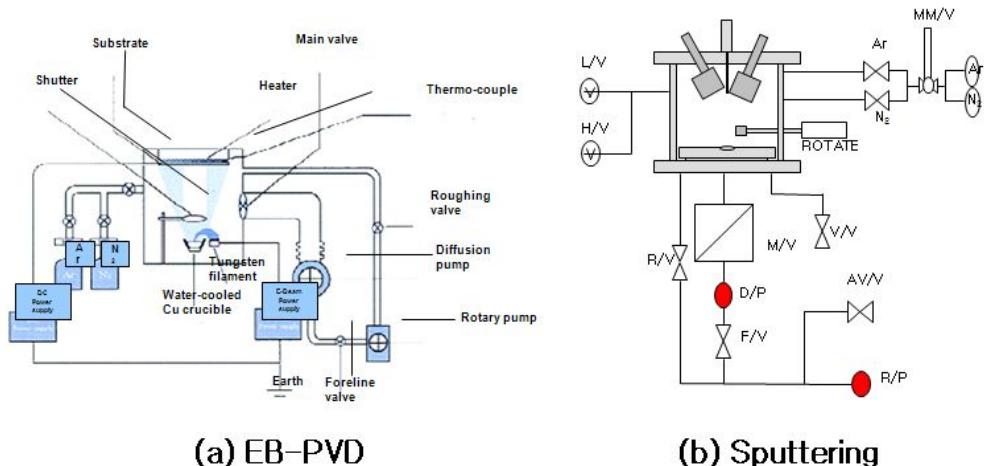


Fig. 2. The schematic diagrams of EB-PVD and sputtering equipment.

Table 1. The coating conditions of TiN and WC film

Conditions	EB-PVD/ Sputtering	
Coating Film	TiN	WC
Base Pressure	3.0×10^{-5} Torr	3.0×10^{-5} Torr
Working Pressure	1.0×10^{-6} Torr	5 m Torr
Gas	N ₂ (10-30 sccm)	CH ₄ (10-30 sccm)
Operation Temperature	450 °C	250 °C
Pre-sputtering	20 min	20 min
Deposition Time	30 min	15 min
Power/ Current	8kW/ 450mA	5 kW/ 250mV

b. 코팅된 지대주나사의 풀림/조임 부여

각 고정체에 코팅된 지대주나사를 반복적으로 조임 및 풀림을 위해 시료를 고정 장치에 장착시켰다. 각각의 지대주나사는 각 시스템이 제공하는 타이타늄 지대주나사를 이용하여 임플란트 고정체에 고정하였다. 나사를 조일 때의 잠금력은 32 Ncm을 적용하였고, 잠금력을 일정하게 하기 위해 전자 토크 제어기(Brånemark system DEA 020 Torque controller)를 사용하였다. 지대주나사의 조임과 풀림을 5회 반복하였다. 지대주나사를 잠그고 난 후 풀기 까지 10초의 시간 간격을 두었다. 임플란트 보철 경험이 있는 한 사람의 치과의사에 의해서 이러한 조작들이 시행되었다.

c. 풀림/조임 후 임플란트 시스템의 피로파절시험

본 연구에서 지대주의 코팅물질에 따른 5회 반복 풀림/조임후 임플란트 시스템의 피로파절거동을 ISO14801:2003(E)규정에 따라 시험하기 위하여 Fig. 3과 같은 인장압축시험기(AG-10kNX, Shimadzu, Japan)를 이용하여 5 mm/min

의 head speed로 압축하중을 주어 최대 파절하중을 조사하였다. 구한 하중은 평균 725.7N이었으며 이 하중의 80%(580N)와 60%(420N)에 해당하는 하중을 선택하고 각각 하중의 최저하중을 10%로 정하여 58N~580N, 및 42N~420N범위로 반복하중조건을 결정하였다. 준비된 시편에 반복하중을 가하기 위하여 공랭식 동적재료시험기(ADT-AV01k1, Shimadzu, Japan)를 이용하여 임플란트 피로시험에 관한 ISO/FPIS14801:2003(E)26규정에 따라 Fig. 4와 같이 고정하였다. 고정한 후 하중조건은 최소하중은 42N 및 58N, 최대하중은 420N 및 580N의 sine형 반복하중을 30° 의 경사각도로 가하였으며 하중주기는 15Hz로 정하여 온도와 습도를 일정(온도 25°C, 습도 40%)하게하여 약 1년간의 평균 저작회수에 해당하는 100만회를 최대반복회수로 정하여 임플란트가 파절될 때 까지 하중을 가하여 파절 때까지 반복회수를 구하였다.

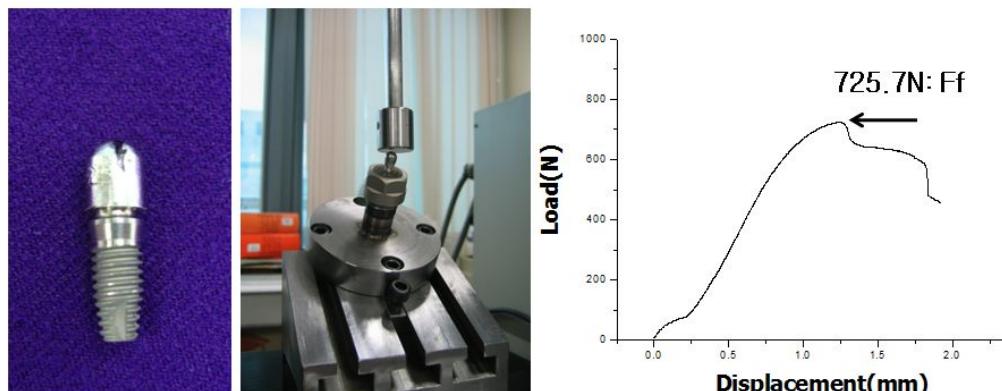
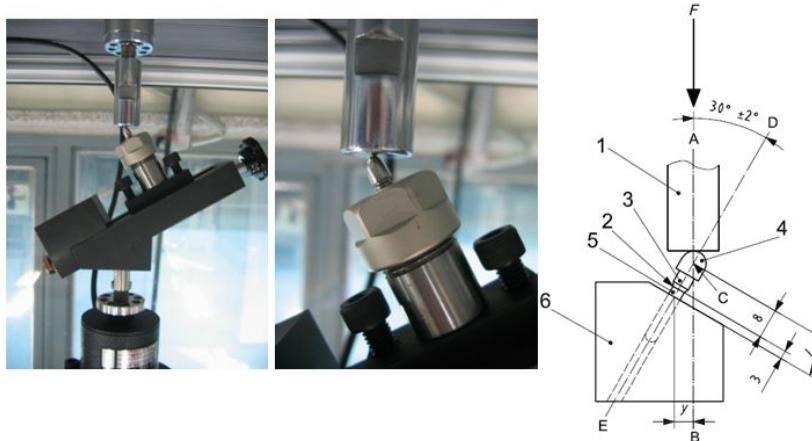


Fig. 3. The schematic diagrams of implant system and compression test for fracture force.



Key

- 1 loading device [shall be allowed free movement transverse to loading direction (see 5.2.6)]
- 2 nominal bone level (see 5.3.2)
- 3 connecting part
- 4 hemispherical loading member
- 5 dental implant body
- 6 specimen holder

Fig. 4. The schematic diagrams of cyclic loading apparatus and condition.

d. 임플란트 시스템의 피로파절시험 후 파절면 관찰

파절된 표면의 관찰은 field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM; S-4800, Hitach, Japan)와 electron dispersive x-ray spectroscopy(EDS; S-4800, Hitach, Japan)를 사용하여 관찰 하였다.

III. 연구 성적

1. 지대주 나사의 코팅표면관찰

Fig. 5는 지대주 나사에 EB-PVD법과 sputtering법을 이용하여 코팅하지 않은 시편, TiN 및 WC를 코팅한 시편의 사진과 각각의 EDS분석결과이다. 코팅하기전의 시편은 원래 금속의 색깔인 회색빛을 보이나 TiN을 코팅한 경우는 황금색을 보인다. 반면 탄소가 함유된 WC는 탄소 고유의 검은 색을 보여 코팅이 잘 이루어 졌음을 보인다. EDS를 이용하여 코팅된 표면의 조성을 조사해 보면 코팅이 되지 않은 경우는 지대주 나사의 재료가 갖는 합금성분인 Ti가 주로 검출되었고 Al 및 V이 검출되어 Ti-6Al-4V합금으로 확인되었다. TiN이 코팅된 경우는 Al, V이 검출되지 않고 Ti와 N이 검출됨으로써 코팅이 잘 이루어졌음을 보인다. WC가 코팅된 경우는 표면분석결과 W의 성분이 우세하게 나타나 WC가 잘 코팅되었음을 나타낸다. 이를 자세히 관찰하기 위하여 SEM사진으로 표면을 조사해 보면 Fig. 6에서 각각의 나사산(top), 평평한 면(flank), 나사골(valley) 등을 보여주고 있다. 코팅하지 않은 나사의 경우 기계적인 가공에 의한 긁힘자국과 같은 결함이 보이며 TiN이 코팅된 경우는 나사산에 존재한 스크래치부위에 TiN이 코팅됨으로써 긁힘자국을 따라 코팅된 표면에서 다소 거친 표면의 양상을 보이지만 나사면(b)과 나사골(c)은 표면이 매끈하여 표면에 코팅물질이 덮여짐으로 인해 표면에서 거칠기가 감소하였음을 보인다. WC를 코팅한 표면의 경우도 나사산(a)과 나사표면(b) 그리고 나사골(c)에서 매끈한 표면양상을 보인다.

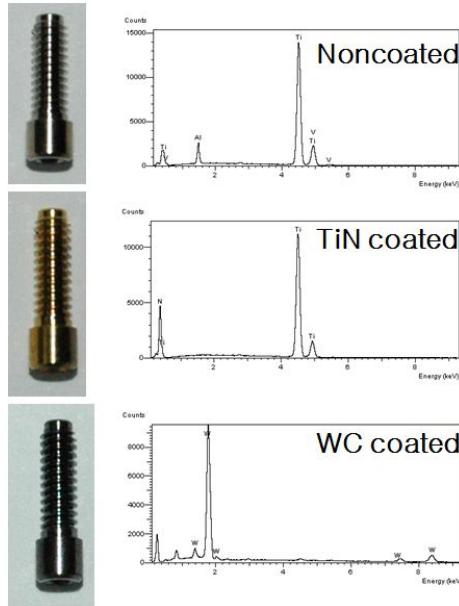


Fig. 5. Photos and EDS peaks showing the non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw.

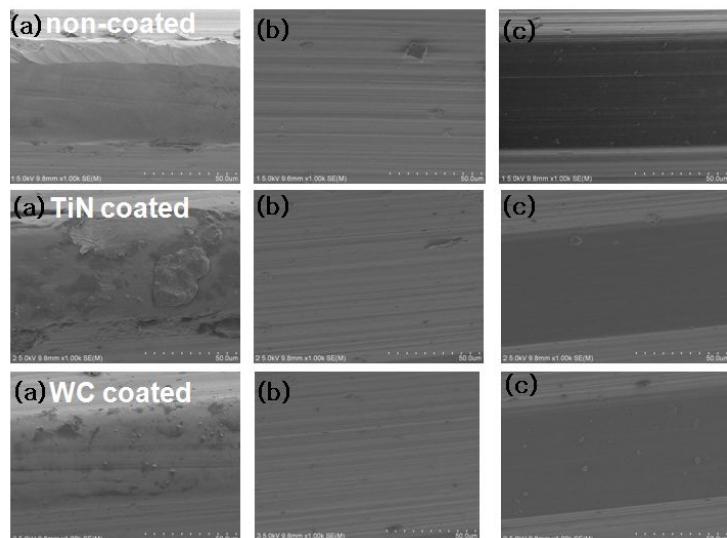


Fig. 6. SEM showing the non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw surface. (a) top, (b) flank, (c) valley

2. 임플란트 시스템의 피로파절시험 결과

420N의 하중에서 코팅하지 않은 지대주나사를 사용한 임플란트 시스템의 피로수명의 평균값은 587,807 cycle을, TiN코팅한 시편은 826,523 cycle을, WC코팅한 시편은 1,000,000 cycle에서 파절되는 경향을 보였다. 이들의 표준 편차는 반복횟수가 증가할수록 크게 나타났다. Fig. 7, 8, 9는 420N에서 얻은 데이터이다. Fig. 8에서 초기 cycle범위에서 코팅하지 않은 경우와 WC를 코팅한 경우의 상부와 하부하중에 대한 변위는 급격히 증가하다가 일정한 변위를 갖는 양상을 보인다. 그러나 TiN은 초기변위가 낮고 전체의 반복횟수 범위에서 변위도 낮음을 보인다. 이를 응력의 변화로 나타낸 것이 Fig. 9이다.

580N으로 하중을 높이면 코팅하지 않은 지대주나사를 사용한 임플란트 시스템의 피로수명의 평균값은 21,161 cycle을, TiN코팅한 시편은 41,451 cycle을, WC코팅한 시편은 23,291 cycle를 나타내 420N에 비하여 크게 감소되는 경향을 보였다. Fig. 10, 11, 12는 580N에서 얻은 데이터이다. 또한 Fig. 11로부터 초기에서 변위가 높은 값에서 시작하나 반복횟수가 증가함에 따라 일정한 변화를 보인다. Fig. 11을 응력변화로 나타낸 것이 Fig. 12이다.

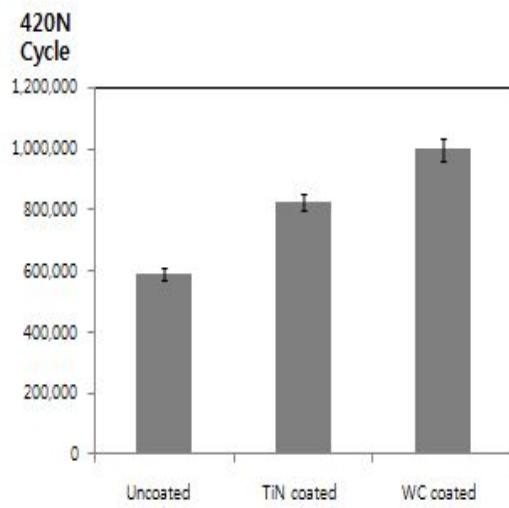


Fig. 7. Mean fatigue life of the non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw at 420N.

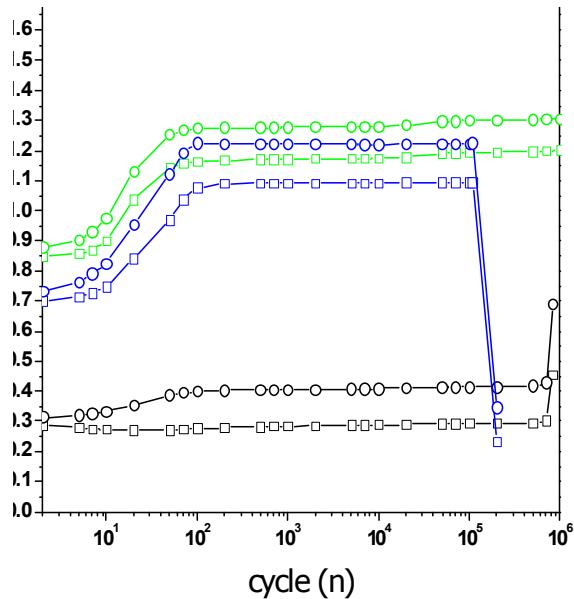


Fig. 8. Measurements of displacement during cyclic testing for non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw at 420N.

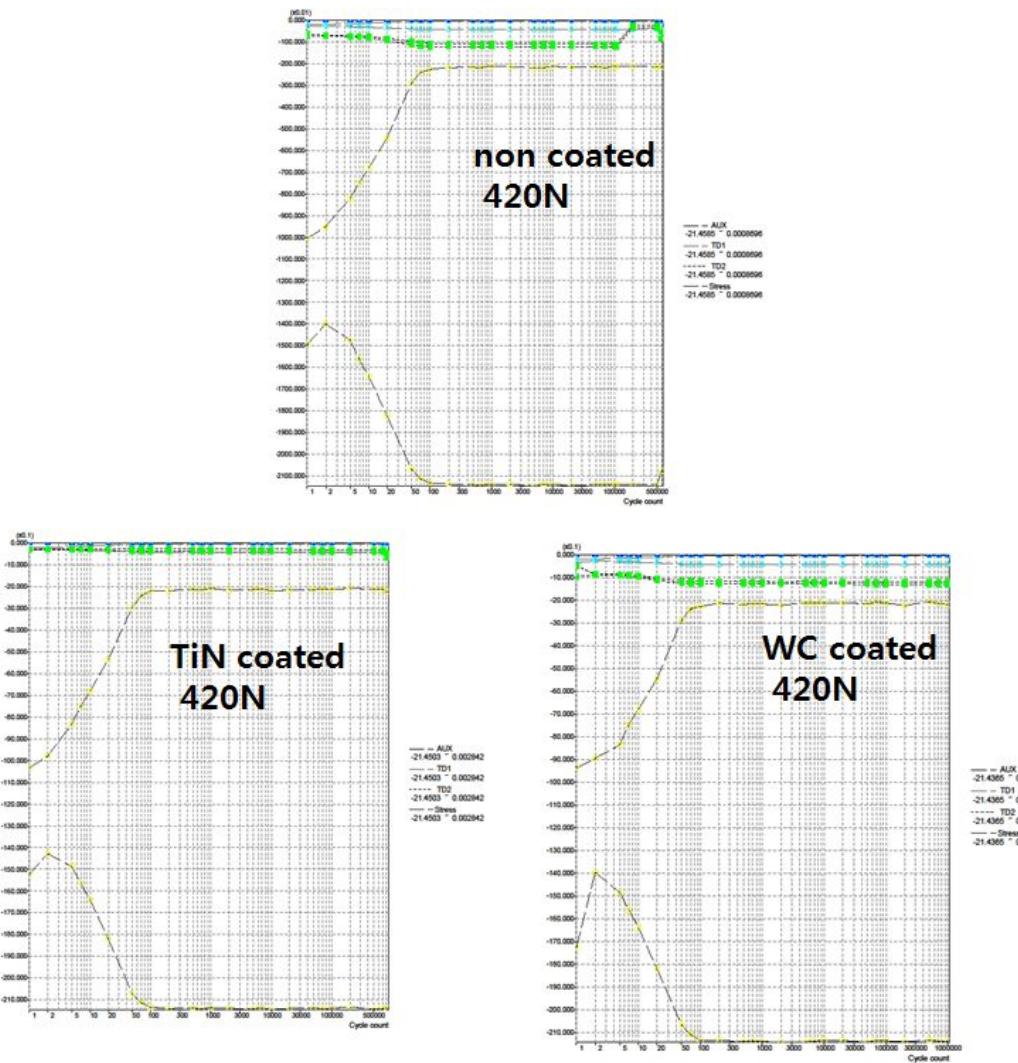


Fig. 9. Upper and lower stress of non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw during cyclic testing at 420N.

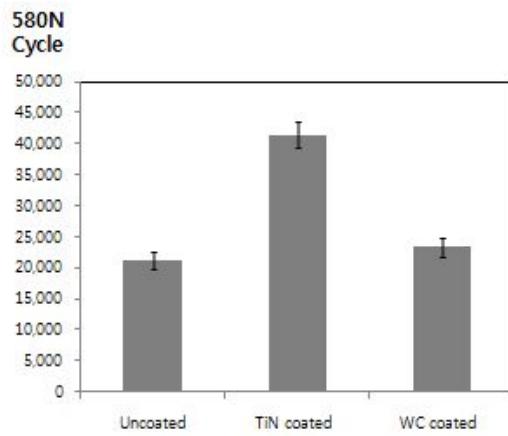


Fig. 10. Mean fatigue life of the non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw at 580N.

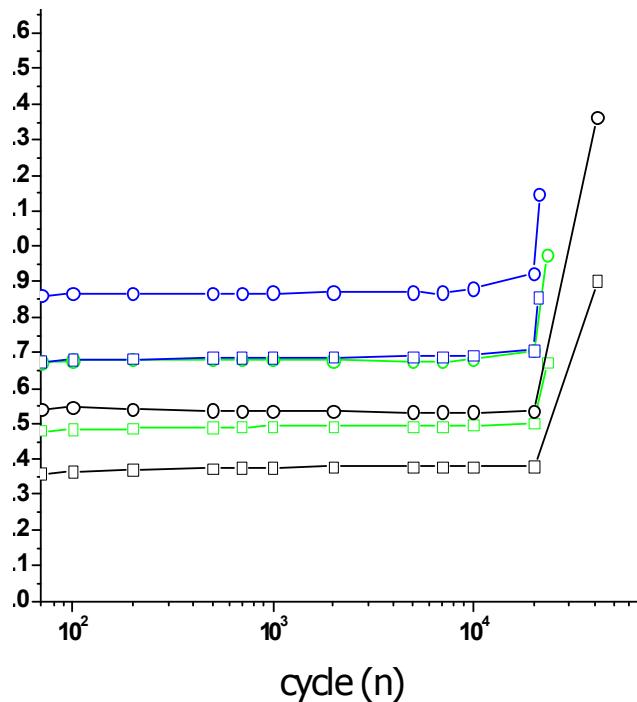


Fig. 11. Measurements of displacement during cyclic testing for non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw at 580N.

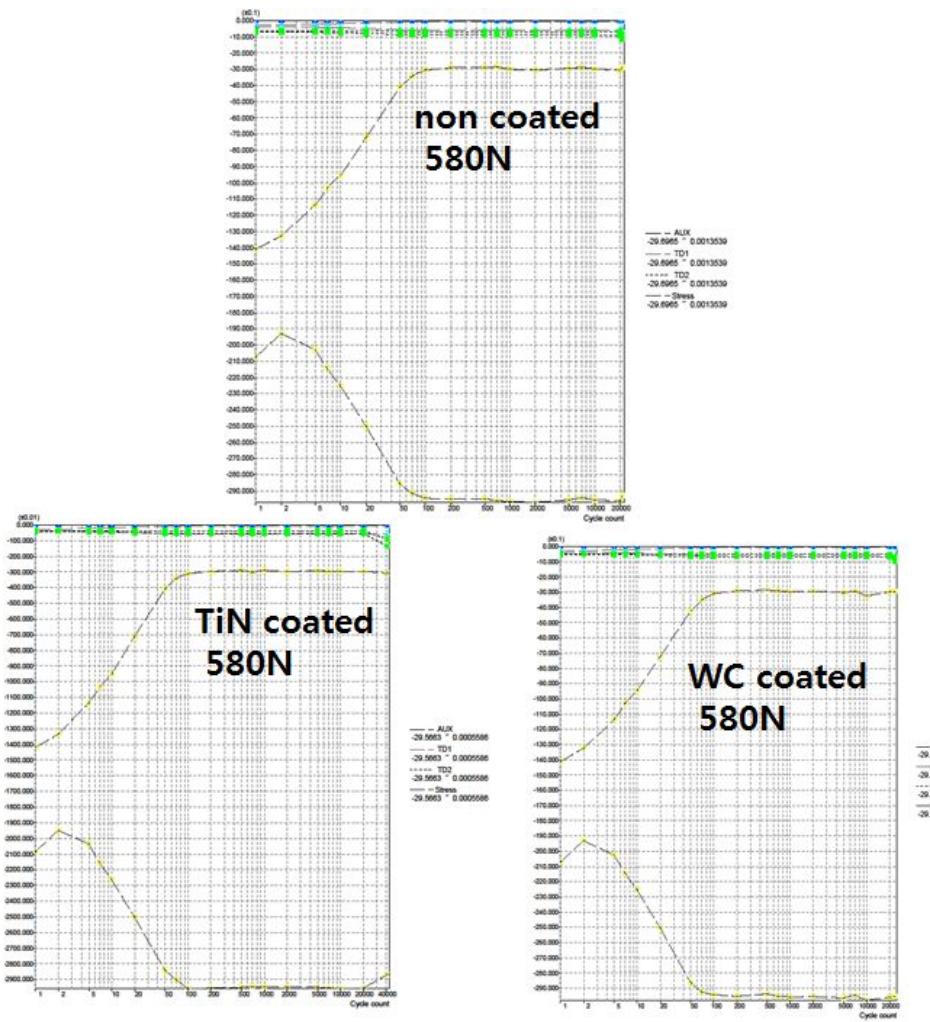


Fig. 12. Upper and lower stress of non-coated, TiN coated and WC coated abutment screw during cyclic testing at 580N.

3. 임플란트 시스템의 피로파절단면 관찰

Fig. 13-15는 코팅하지 않은 지대주나사에 420N으로 피로하중을 가하여, 피로파절 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 지대주나사의 파단면에서 원형의 물결모양(beach mark)이 나타났고(Fig. 13-b) 균열이 발생되는 초기에 준벽개면(semi-cleavage)을 보이며 균열이 전파되는 중간부위에서 피로무늬(striation)가 관찰되었다(Fig. 15). 여기서 나타난 피로줄무늬는 일정한 방향으로 나타나지 않고 불규칙적으로 나타났다. 최종 파단면인 Fig. 14에서 파단면이 준벽개면으로 이루어져 있고 연성파괴의 특징인 “dimple”과 벌집모양도 보였다(Fig.14-b).

Fig. 16-19는 TiN을 코팅한 지대주나사에 420N으로 피로하중을 가하여, 피로파절 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 지대주나사의 파단면은 주로 벽개파절면을 보였고 물결모양(beach mark)은 관찰되지 않았다. 초기에 나타난 파절면은 슬립띠가 나타나지 않아 소성변형하지 않았고(Fig. 16-d) 입내를 지나가는 준벽개면(semi-cleavage) 파절현상이 주로 나타나고 균열이 전파되는 중간 부위에서 피로무늬(striation)가 미세하게 관찰되었다(Fig. 19). 최종 파단면인 Fig. 17에서 파단면이 벽개면으로 이루어져 있고 취성파괴의 특징인 벽개(cleavage)모양을 보였다(Fig.17-b). 파단면을 가로질러 성분의 변화를 보기위하여 EDS분석으로 성분변화를 조사한 결과 Fig. 18에서 Ti함량이 지대주나사의 표면부위에서 기지(matrix)와 다르게 다소 감소하는 경향을 보였다. V과 Al은 표면부위에서 감소하여 나타났다.

Fig. 20-23은 WC를 코팅한 지대주나사에 420N으로 피로하중을 가하여, 피로파절 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 지대주나사의 파단면은 초기에 준벽개파절면을 나타내었고(Fig.21), 초기에 물결모양(beach mark)은 관찰되지 않았다. 초기에 나타난 파절면은 슬립띠와 같은 소성변형이 나타나지 않았고 (Fig. 21) 1/3파절이 이루어진 후부터는 파절의 최종단계에서 나오는 벌집모양의 연성파괴특성이 나타나고 있다(Fig.22). 중간부분에서는 미세하게 불규칙적인 물결모양이 나타나 균열전파 부분을 나타내었다(Fig.23). 파단면을 가로질러 성

분의 변화를 보기위하여 EDS분석으로 성분변화를 조사한 결과 Fig. 20에서 W 함량이 지대주나사의 코팅단면부위에서 높게 나타나고 있고 Ti, V, Al의 함량이 크게 감소함을 보인다.

Fig. 24-25는 TiN을 코팅한 지대주 나사에 580N으로 피로하중을 가하여, 피로파절 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 지대주 나사의 파단면 초기에는 균열발생의 흔적이 나타나고 준벽개파절면을 나타내었고(Fig.24-d) 균열이 내부로 전파되는 양상을 보였다. 원형의 물결모양(beach mark)이 뚜렷이 관찰되지 않았고 초기에 나타난 파절면은 슬립띠와 같은 소성변형이 나타나지 않고 입내를 지나가는 준벽개면(semi-cleavage) 파절현상이 주로 나타나고 균열이 전파되는 중간 부위에서 피로무늬(striation)가 규칙적으로 다량 관찰되었고 그 간격은 $0.5\mu\text{m}/\text{cycle}$ 로 420N에서 보다 크게 나타났다(Fig. 25-c). 내부에서 도 균열이 발생되었고 슬립띠가 진행되는 양상을 보였다.

Fig. 26-27은 WC를 코팅한 지대주 나사에 580N으로 피로하중을 가하여, 피로파절 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 지대주 나사의 파단면은 초기에 준벽개파절면을 나타냈었고(Fig.26-a), 초기에 아주 미세한 슬립띠가 내부로 이동한 양상을 보였다. 물결모양(beach mark)이 관찰되었고 균열이 내부로 전파되고 있음을 보였다. 피로무늬는 불규칙하게 배열되어 있고(Fig. 26-d) 내부의 균열이 TiN보다 많이 관찰되었다. 파절중기에는 피로무늬가 현저히 증가하며 규칙적으로 진행되었음을 보였다. 출무늬간격도 수 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 로 420N때 보다 넓게 나타났다. 균열전파부인 중간 부분에서 균열이 크게 증가함을 보였다(Fig. 27-b).

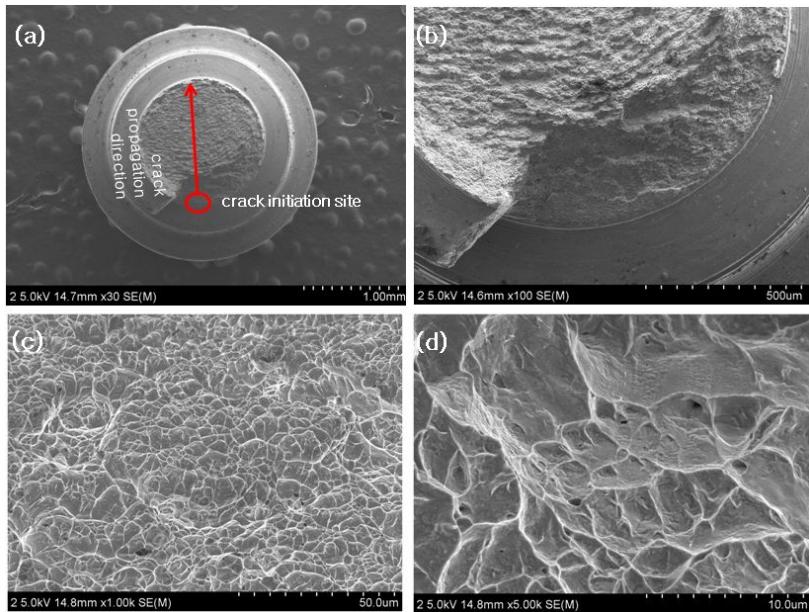


Fig. 13. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured non-coated abutment screw after fatigue test at 420N.

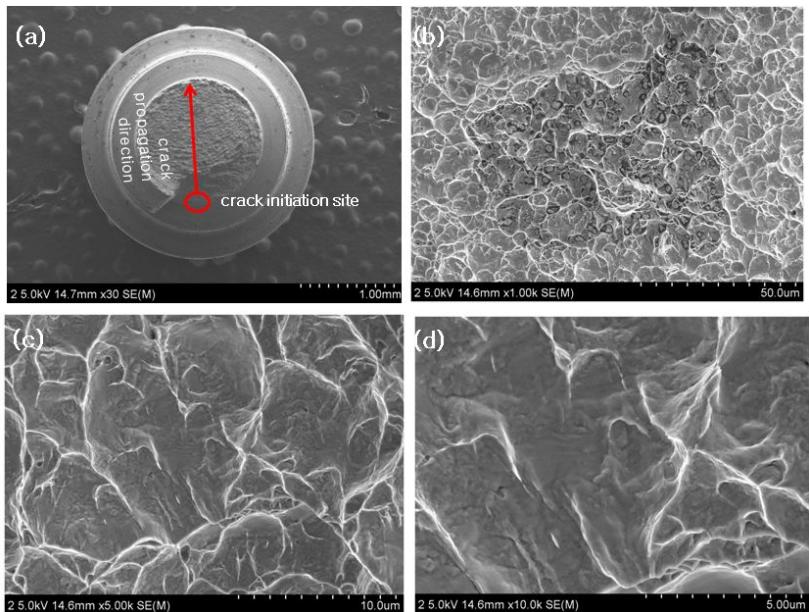


Fig. 14. FE-SEM showing the final fracture surface of non-coated abutment screw after fatigue test at 420N.

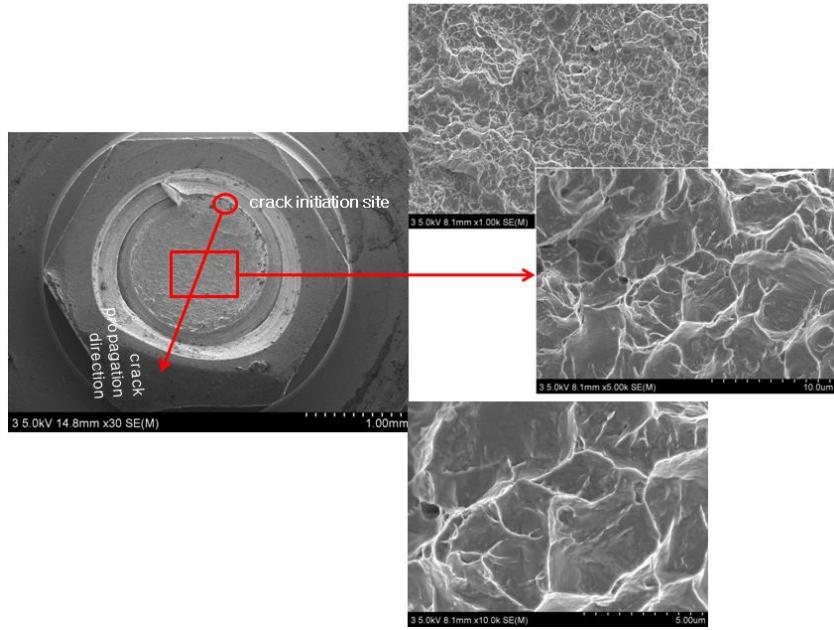


Fig. 15. FE-SEM showing the fractured middle surface of non-coated abutment screw and implant fixture after fatigue test at 420N.

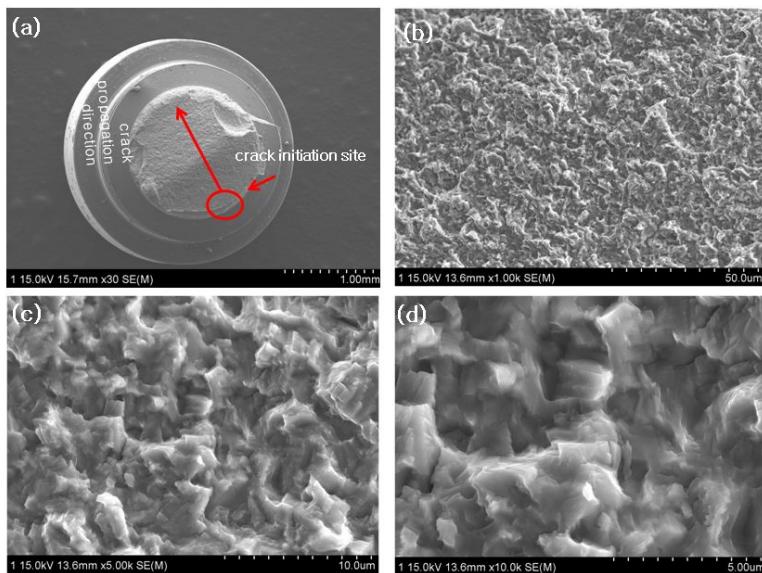


Fig. 16. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured TiN-coated abutment screw after fatigue test at 420N.

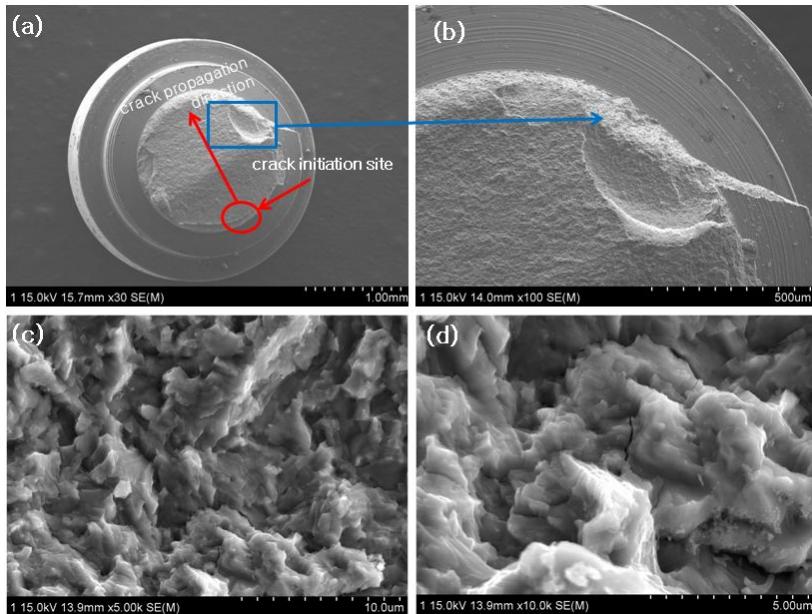


Fig. 17. FE-SEM showing the final fracture surface of TiN-coated abutment screw after fatigue test at 420N.

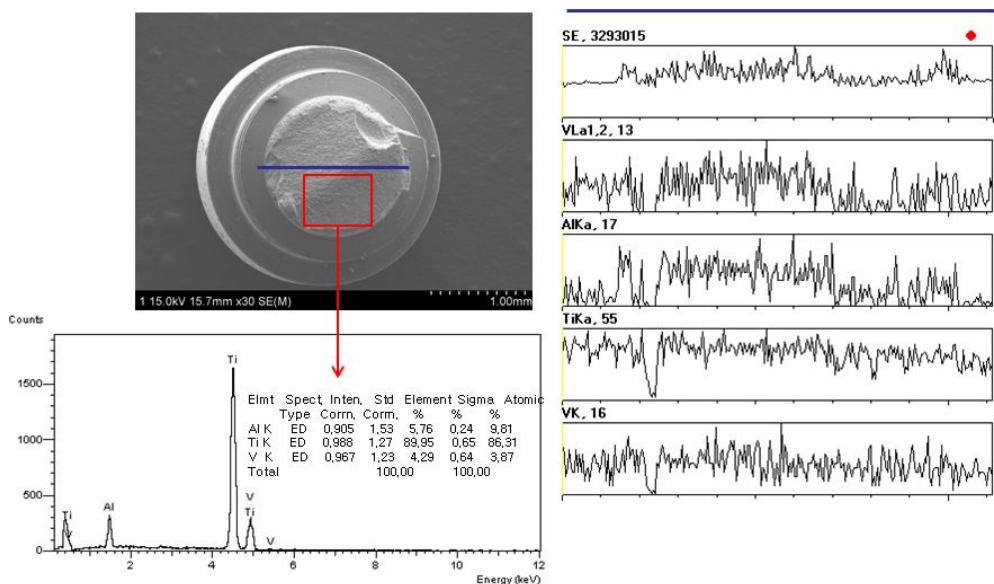


Fig. 18. EDS peaks and line profile of fractured TiN-coated abutment screw after fatigue test at 420N.

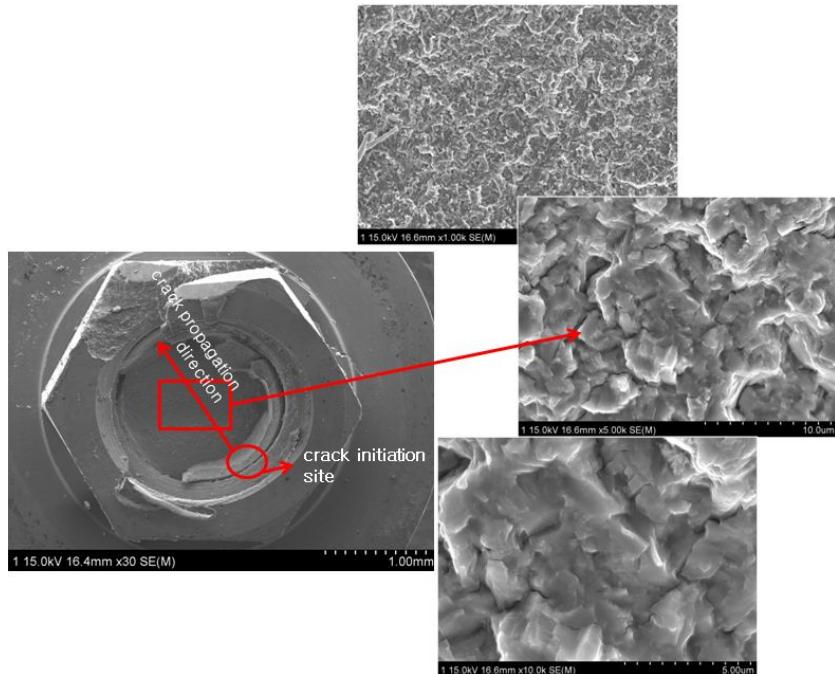


Fig. 19. FE-SEM showing the fractured middle surface of TiN-coated abutment screw and implant fixture after fatigue test at 420N.

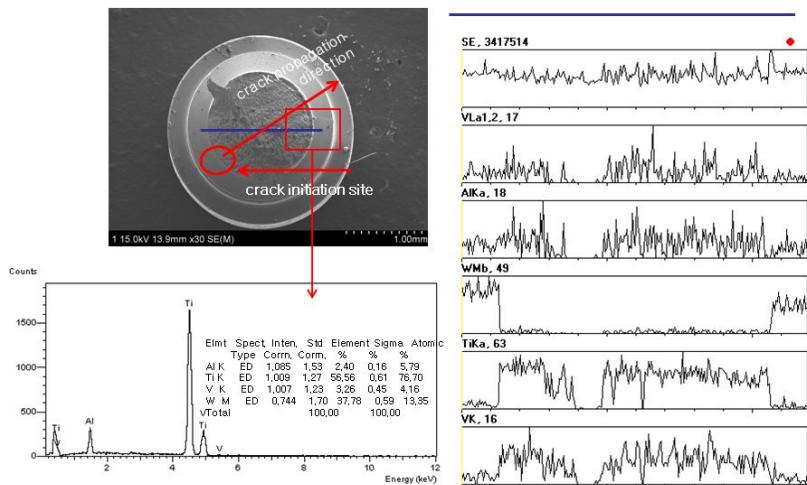


Fig. 20. EDS peaks and line profile of fractured WC-coated abutment screw after fatigue test at 420N.

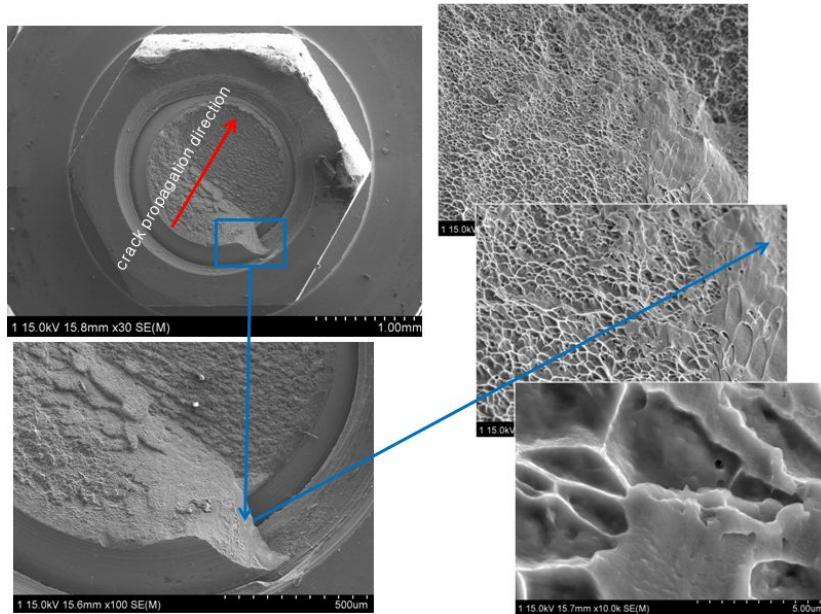


Fig. 21. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured WC-coated abutment screw and implant fixture after fatigue test at 420N.

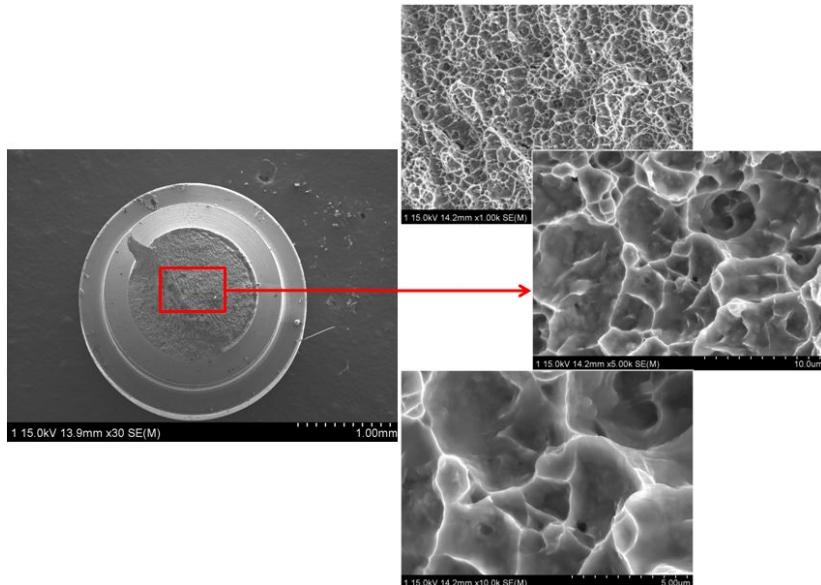


Fig. 22. FE-SEM showing the fractured middle surface of WC-coated abutment screw after fatigue test at 420N.

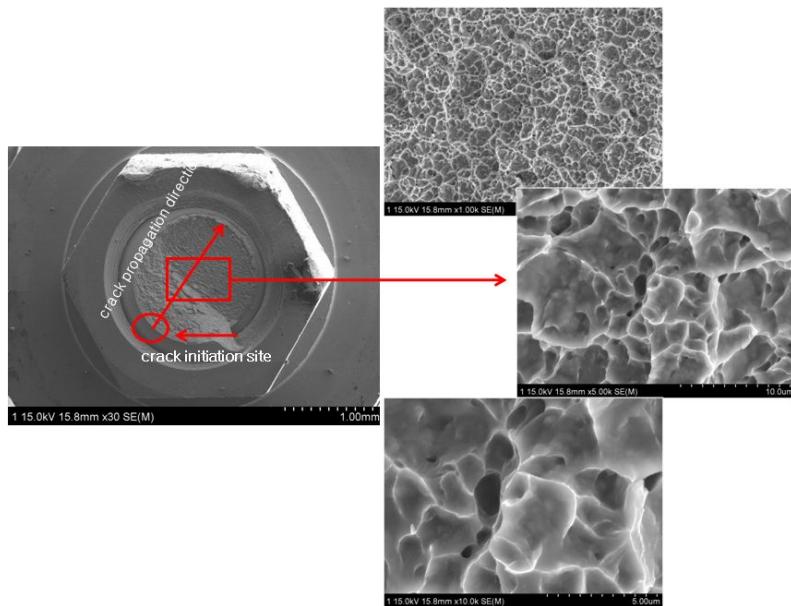


Fig. 23. FE-SEM showing the fractured middle surface of WC-coated abutment screw and implant fixture after fatigue test at 420N.

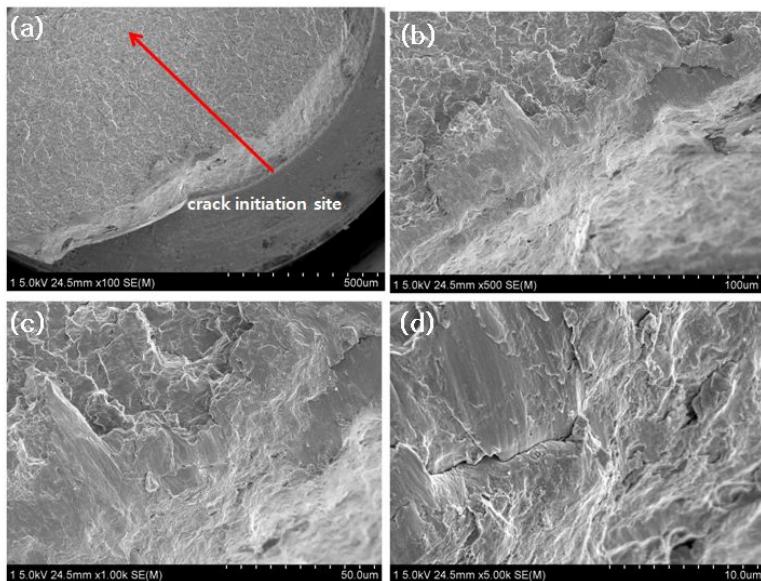


Fig. 24. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured TiN-coated abutment screw after fatigue test at 580N.

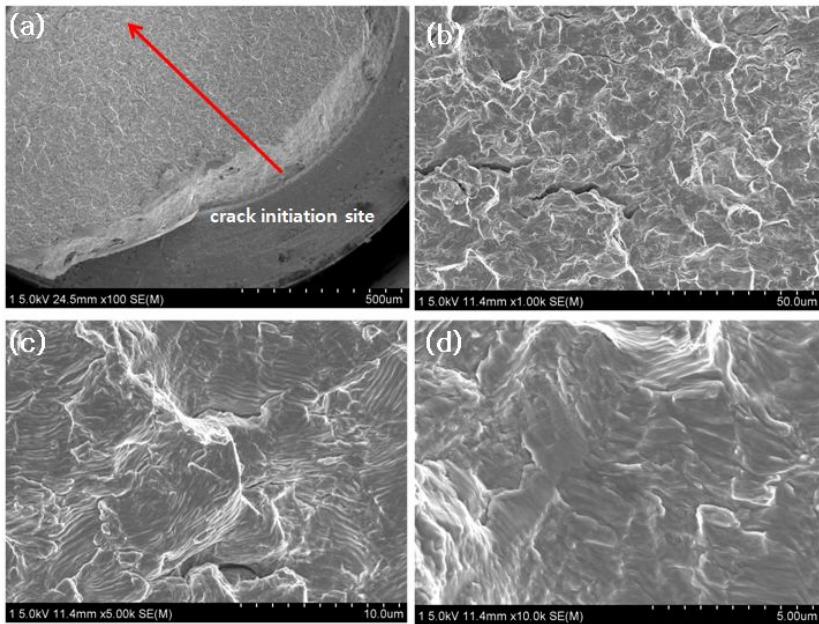


Fig. 25. FE-SEM showing the fractured middle surface of TiN-coated abutment screw after fatigue test at 580N.

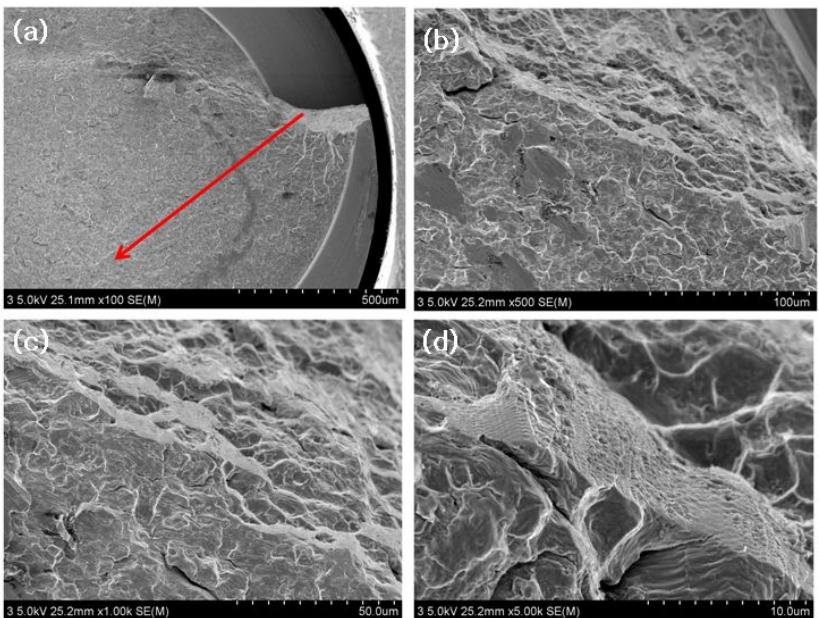


Fig. 26. FE-SEM showing the crack initiation surface of fractured WC-coated abutment screw after fatigue test at 580N.

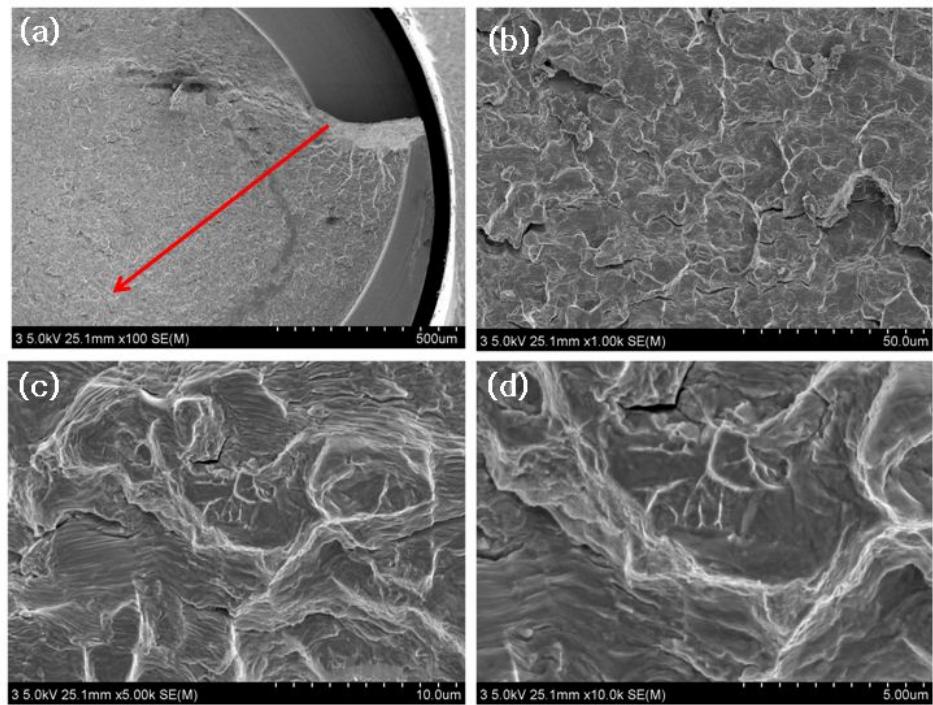


Fig. 27. FE-SEM showing the fractured middle surface of WC-coated abutment screw after fatigue test at 580N.

IV. 총괄 및 고안

치과 임플란트의 성공여부는 여러 가지 요인이 있지만 특히 피로파절에 대한 저항성 개선이 가장 중요한 요인으로 대두되어 연구가 많이 진행되고 있다¹⁴⁻¹⁶⁾. 최근 보고에 의하면 5년간의 임상적인 연구에서 임플란트 파절률은 3.5%로 비교적 낮으나 임플란트 시스템의 반복적인 풀림과 조임에 의한 지대주 나사의 풀림현상이 피로파절을 유발한다는 것으로 알려져 있다.^{4,17)} 피로파절강도에 미치는 인자¹⁸⁾는 응력집중, 표면거칠기, 표면조건, 환경 등으로 들 수 있다. 응력집중은 노치, 구멍, 키홈, 및 단면의 급격한 변화가 있는 곳과 같이 응력이 집중되는 곳이면 피로강도가 크게 감소한다. 따라서 가능한 응력집중부를 피하는 설계를 통하여 피로파절을 최소화할 수 있다. 표면거칠기는 일반적으로 금속시편의 표면이 매끈할수록 피로강도가 높게 나타난다. 거친표면은 피로균열형성을 쉽게 하는 응력집중부를 만들어 낸다. 표면조건은 대부분의 피로파절에 있어서 금속표면에서 시작되므로 표면조건의 변화는 피로강도에 영향을 주며 침탄이나 질화와 같은 강(steel)의 표면경화처리는 피로수명을 증가시키나 탈탄처리 등은 표면을 연화시켜 피로수명을 감소시킨다. 또한 쇼트피이닝(shot peening)에 의한 금속표면에 압축성 잔류응력의 부여도 피로수명을 증가시킨다. 환경은 부식성분위기에서 금속이 주기적인 응력을 받게 되면 화학적 침투가 피로균열의 전파속도를 가속시키며 금속에 대한 부식침투와 주기적인 응력의 조합으로 나타나는 현상이 부식피로라고 한다. 이러한 인자를 고려해보면 임플란트의 피로파절개선은 표면의 거칠기감소, 표면강도부여, 압축응력부여, 표면코팅 등으로 개선이 가능하다. 특히 임플란트 표면에 압축응력을 부여함으로써 최대의 피로저항을 얻을 수 있지만 나선형태의 표면이기 때문에 가공상 어려움이 있어 표면에 TiN과 WC와 같은 코팅물질을 코팅하여 강도와 경도를 부여하여 이를 개선할 수 있다.

이와 같이 피로저항 개선방안으로 코팅물질이 효과적이나 풀림현상에 미치는 TiN, TiCN 코팅막의 영향에 관한 연구는 보고되었지만,¹⁹⁾ 반복하중이 작용함

으로써 풀립현상원인으로 피로파절에 이르게 됨에도 불구하고 지대주나사를 코팅하여 임플란트 시스템을 구성하고 피로파절을 연구한 논문은 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 우선 임플란트시스템을 구성하는 지대주나사, 지대주, 및 고정체를 준비하고 지대주나사에 TiN과 WC를 코팅하여 지대주와 함께 고정체에 장착하여 임플란트 시스템을 구성하고 5회 풀립과 조임을 반복하여 피로시험후 피로파절수명과 표면관찰을 통하여 코팅물질이 피로파절에 미치는 영향을 조사하였다.

먼저 코팅된 지대주 나사의 표면을 관찰해 보면 코팅한 경우와 하지 않은 경우의 차이는 코팅전의 시편은 회색빛을, TiN을 코팅한 경우는 황금색을 보인다 (Fig.5). 반면 탄소가 함유된 WC는 탄소 고유의 검은 색을 보여 각각의 코팅색깔을 지닌다. 코팅표면에서 성분을 EDS로 조사해보면 각각 Ti, N, W, C가 검출되어 원하는 코팅 막이 잘 형성되었음을 보이는데 이러한 코팅층은 표면의 거칠기를 감소하고 내마모 및 마찰특성에 영향을 미쳐 풀립과 조임에 큰 영향을 미친다.²⁰⁾ 실제로 코팅된 시편표면을 FE-SEM으로 관찰해 보면 TiN코팅한 표면은 코팅하지 않은 표면에 비하여 기계적인 결함이 현저하게 감소되는 형태로 나타나는데(Fig. 6) 이러한 금속화물들이 풀립과 조임력에 영향을 크게 미치게 된다고 보고하고 있다.²⁰⁾ 특히 표면에 형성된 기계적인 가공결함은 균열의 성장 및 전파를 통하여 파절로 이어질 수 있는 결함이다.²¹⁾ TiN은 Ti와 결합하는 N은 공유결합형태의 금속-비금속 혼성 결합을 이루고 있어 높은 경도 값과 취성을 가진다고 보고되어 있다.²²⁾ TiN_{1.0}일 때 최고의 경도와 내마모성을 가지며 마모 저항은 TiN은 0.6보다 높은 마찰계수를 가진다는 보고에서도 알 수 있다.²²⁾ WC는 역시 우수한 코팅표면을 보이며 결함이 거의 없어 마찰계수가 TiN보다 낮지만 취성을 보이는 단점이 있다.

이러한 강도와 경도가 높은 물질을 표면에 코팅함으로써 피로파절을 개선할 수 있음을 예측할 수 있다. 실제로 피로파절시험을 행하여보면 420N의 하중에서 코팅하지 않은 지대주를 사용한 임플란트 시스템의 피로수명은 587,807 cycle을, TiN코팅한 시편은 826,523 cycle을, WC코팅한 시편은 1,000,000 cycle

을 보여 코팅한 경우가 피로수명이 증가함을 알 수 있다(Fig.8). 또한 반복횟수에 따른 변형곡선에서(Fig. 8) 코팅하지 않은 경우와 WC코팅한 경우는 반복횟수 초기에 변형량이 증가하다가 일정한 값을 보이는데 이는 피로초기에 슬립띠 등의 이동으로 인하여 변형량이 증가한 것으로 생각된다.¹⁸⁾ 그러나 TiN을 코팅한 경우는 미세변화 후 일정한 값을 보이고 가장 낮은 변형량을 보여 표면에서 균열의 성장을 억제하는 효과¹⁸⁾가 있음을 암시한다. 그러나 580N으로 하중을 높이면(Fig.11) 그 효과는 더 크게 나타나는데 코팅하지 않은 지대주를 사용한 임플란트 시스템의 피로수명의 평균값은 21,161 cycle을, TiN코팅한 시편은 41,451 cycle을, WC코팅한 시편은 23,291 cycle를 나타내 420N에 비하여 크게 감소되는 경향을 보이지만(Fig.11), TiN을 코팅한 경우는 이들 중에서 가장 긴 피로수명을 나타내어 경도와 강도가 높은 코팅재료가 피로수명을 개선하였음을 알 수 있다. 이와 같이 TiN은 금속-비금속 혼성 결합을 이루어 높은 경도 값과 취성을 가진다고 보고²²⁾와 잘 일치하며 WC도 또한 우수한 피로파절저항 효과를 나타내지만 높은 하중에서는 TiN보다 그 효과가 낮음을 알 수 있다. 하중이 높으면 초기부터 변형량이 다소 높게 나타나며 일정한 값(Fig. 11)을 보여 하중이 낮은 경우와 특성이 달리 나타남을 알 수 있다.

금속표면에서 일단 생성된 균열은 높은 전단응력을 받는 결정면을 따라 매우 천천히 전파해 나가는데 이를 1단계 전파¹⁸⁾라고 하며 2단계 전파에 접어들면서 균열의 진전 속도는 매우 빠르게 증가하며 또한 균열의 진전방향도 작용 인장응력 방향에 거의 수직으로 바뀐다. 2단계 전파과정¹⁸⁾은 파절면에 해변무늬(beach mark)와 줄무늬(striation)의 두 가지 양상¹⁸⁾이 나타나는데 균열생성 위치를 중심으로 원 모양이나 타원 모양으로 퍼져나가는 능선의 모습을 갖고 있다. 파절면을 관찰함으로써 파절의 원인을 알 수 있는데, 해변무늬와 줄무늬의 존재는 파절이 피로에 의하여 발생되었다는 것을 의미하기 때문이다. 그러나 해변무늬와 줄무늬가 관찰되지 않는다고 해서 파절의 원인으로서 피로를 배제시켜 서는 안 되며 이는 파절이 급속히 일어난 부위에서는 해변무늬 또는 줄무늬가 나타나지 않기 때문이다. 급속파절은 연성파괴일 수도 있고 취성파괴일 수도 있는

데 연성파괴일 경우에는 소성변형의 흔적이 나타나지만 취성파괴일 경우에는 소성변형의 흔적이 나타나지 않는다.²³⁾ 또한 최종 파절 전에 많은 소성변형을 하는 경우는 연성파절이라고 하고 소성변형이 거의 없는 경우를 취성파절이라고 하며 그 특징은 표면이 벌집모양을 한 dimple형을 하면 연성파절, 매끈한 표면을 하면 벽개(cleavage)표면을 한 취성파괴라고 하며 표면이 벌집모양과는 달리 매끈한 형태를 말한다.

Ti와 같이 연성파절의 피로파절과정¹⁸⁾은 균열발생, 슬립띠(slipband) 균열성장, 높은 인장응력 하에서 면에서 균열성장, 및 최종연성파괴를 하게 된다. 균열발생은 피로파절의 초기단계에서 나타난 현상이고 슬립띠 균열성장은 금속표면에 슬립띠 돌출(slipband extrusion)과 슬립띠 함입(slipband intrusion)이라는 표면융기와 골이 발생하고 표면의 불규칙성과 슬립띠에 따른 손상에 의해 균열은 표면 혹은 표면근처에 생성되었다가 점차 높은 전단응력을 받는 면을 따라 전파된다. 이것을 첫 단계 피로균열성장이라고 하며 피로균열성장속도는 10^{-10} m/cycle 정도가 된다. 높은 인장응력 하에서 균열성장은 첫 단계에서 몇 개의 결정립지를 만큼 성장하다가 최대인장응력에 수직방향으로 균열의 진행방향이 바뀌게 된다. 이를 2단계 피로균열성장이라고 하고 비교적 빠른 속도로 균열이 전파되고 수 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 되고 균열이 금속시편의 단면을 가로질러 진행함에 따라 피로줄무늬가 발생한다. 최종연성파괴는 남아 있는 금속단면이 작용하중을 지탱할 수 없을 만큼 균열이 충분한 면적을 덮게 되면 시편은 연성파괴에 의해 파괴된다.

이러한 이론을 기초로 하여 피로파절 후 표면을 관찰해 보면 420N으로 피로하중을 가하여 파절 후 표면을 보면 코팅하지 않은 지대주나사에서 원형의 물결모양(beach mark)이 나타나(Fig. 13-b) 피로에 의한 파절임을 알 수 있으며 균열이 발생초기에 파절면이 평평하고 dimple이 혼재한 준벽개면(semi-cleavage)이 나타나고 균열이 전파부인 중간 부위에서 피로무늬(striation)가 뚜렷이 관찰되었으며(Fig. 15) 최종단계에서 준벽개면과 dimple이 나타나 연성파괴를 하였음을 알 수 있다(Fig.14-b). 이는 피로초기에 많은 슬립띠의 형성으로 균열이 발생되고 빠르게 전파하여 파절에 이른 현상인데 변위와 반복횟수의 결과에서

변위가 초기에 증가한 것과 잘 일치한다.

반면에 TiN을 코팅하면 지대주나사의 파단면에서 주로 벽개파절면을 나타냈고 원형의 물결모양(beach mark)이 뚜렷이 나타나지 않아 갑작스런 파절의 양상이다. 이는 코팅하지 않은 경우와 달리 소성변형이 지배적이지 않고(Fig. 16-d) 준벽개면파절이 주로 나타나 TiN코팅막에 의해 표면에서 슬립띠의 형성을 억제하여 많은 반복횟수까지 저항하다가 순간적으로 균열이 코팅하지 않은 것에 비하여 빠르게 전파하여 파절되었기 때문으로 판단되며 그 증거로 파절면의 1/2 후반에 2시 방향과 11시 방향에서 벽개의 파절양상이 뚜렷이 보여 이를 확인할 수 있고 Fig. 8의 우측에 나타난 변형량이 갑자기 증가하는 현상과 일치한다.

WC를 코팅하면 TiN과 같이 초기에 준벽개파절면을 나타냈었고(Fig.21), 초기에 물결모양(beach mark)은 관찰되지 않았으며 1/3파절이 이루어진 이후부터 파절의 최종단계에서 관찰되는 벌집모양의 연성파괴특성이 나타나 코팅하지 않은 경우와 비슷한 파절면을 보였다. 또한 중간부분에서는 미세하게 불규칙적인 물결모양이 나타나 균열전파 부분을 나타내었다(Fig.23). 이와 같이 WC코팅막도 TiN과 같이 피로파절의 저항성을 증가시킴을 알 수 있는데 나사전체 파단면을 가로질러 성분을 조사한 결과(Fig. 20), W함량이 나사의 코팅단면부위에서 높게 나타나 코팅막이 균열의 생성과 전파억제에 기여하였음을 알 수 있다.

피로하중을 정적인 파절의 80%인 580N까지 높이면 TiN을 코팅한 경우, 초기에는 균열발생의 흔적이 나타나고 준벽개파절면(Fig.24-d)을 나타내고 균열이 내부로 전파되는 양상을 보였으며 소성변형영역이 좁게 나타났다. 이는 변형-반복횟수곡선에서 초기에 변형량이 다소 높게 나타난 것과 일치한다. 물결모양(beach mark)¹⁸⁾이 관찰되지 않았고 초기에 나타난 파절면은 슬립띠와 같은 소성변형이 나타나지 않고 입내(grain)를 지나가는 준벽개면(semi-cleavage)파절이 현상이 주로 나타나고 균열이 순간적으로 빠르게 전파되는 현상을 보인다. 또한 중간 부위에서 피로무늬(striation)¹⁸⁾가 규칙적으로 많아 관찰되었고 그 간격은 $0.5\mu\text{m}/\text{cycle}$ 정도의 크기로 관찰되었고 420N에서 보다 크게 나타나(Fig. 25-c,d) 균열의 전파속도가 빠르게 나타남을 알 수 있다.

WC를 코팅하면 파단초기에 준벽개파절면을 나타냈었고, 초기에 아주 미세한 슬립띠가 내부로 이동한 양상을 보인다(Fig. 26-a). 물결모양(beach mark)이 관찰되었고 소성영역이 TiN보다 넓게 나타나고 피로줄무늬의 간격이 수 μm /cycle로 더 넓게 나타나 균열속도가 빠르게 진행되었음을 알 수 있다. 내부에서 균열이 TiN보다 많이 관찰되어 소성변형에 의한 피로파절임을 알 수 있다 (Fig. 27-b). 피로하중을 증가시키면 피로수명이 급격히 감소하며 피로무늬의 전파속도가 크게 증가하여 파절이 빠르게 이루어짐을 확인하였다.

결론적으로 지대주나사에 코팅처리를 한 경우는 하지 않은 경우에 비해 조임과 풀림력에 영향을 미칠 뿐만 아니라 반복하중이 가해짐에 따라 표면에서 코팅막의 영향으로 균열의 핵생성과 전파가 억제되어 피로저항을 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 강도와 경도가 높은 물질로 코팅을 행함으로써 임플란트 시스템의 피로파절문제를 해결할 수 있는 방안이 될 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 지대주나사에 TiN 코팅의 경우가 WC 코팅의 경우보다 우수한 피로특성을 보였다.

V. 결 론

임플란트 시스템의 피로파절에 미치는 지대주나사의 TiN 및 WC 코팅효과를 조사하기 위하여 동적피로시험인 ISO 14801을 이용하여 피로수명과 피로파절면을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 코팅하지 않은 지대주나사의 경우 기계적인 가공에 의한 긁힘자국을 보이며 TiN 및 WC가 코팅됨으로써 나사산과 나사표면 그리고 나사골에서 표면이 매끈한 양상을 보였다.
2. 420N의 하중에서 코팅하지 않은 지대주나사를 사용한 임플란트 시스템의 피로수명의 평균값은 587,807 cycle을, TiN코팅한 시편은 826,523 cycle을, WC코팅한 시편은 1,000,000 cycle에서 파괴되는 경향을 보였고 580N으로 하중을 높이면 코팅하지 않은 경우 21,161 cycle을, TiN코팅한 시편은 41,451 cycle을, WC코팅한 시편은 23,291 cycle를 보였다.
3. 420N에서 피로시험 후 파절표면을 관찰한 결과, 코팅하지 않은 지대주나사는 물결모양(beach mark)과 피로줄무늬를 보였으나 TiN을 코팅한 경우는 준벽개면(semi-cleavage) 파절이 현상이 주로 나타났다. WC를 코팅한 경우는 초기에 준벽개파절면을 나타냈었고 최종단계에서 연성파괴특성을 보였다.
4. 580N에서 피로시험 후 파절표면을 관찰한 결과, TiN을 코팅한 경우는 준벽개파절면을 나타내었고 전파되는 중간 부위에서 피로무늬(striation)가 규칙적으로 다량 관찰되었으며 간격은 약 $0.5\mu\text{m}/\text{cycle}$ 정도로 넓게 나타났다. WC를 코팅한 경우, 미세한 슬립띠가 내부로 이동한 양상을 보였으며 피로무늬 간격이 약 $\text{수}\mu\text{m}/\text{cycle}$ 로 현저히 증가하여 규칙적으로 진행되었음을 보였다.

이상의 결과로부터 지대주나사에 TiN과 WC를 코팅처리한 경우 조임과 풀림력에 영향을 미칠 뿐만 아니라 반복하중이 가해짐에 따라 피로저항을 개선할 수

있음을 확인할 수 있으므로써 지대주나사의 표면에 강도와 경도가 높은 물질로 코팅을 행함으로 피로특성을 개선할 수 있을 것으로 생각되었고 특히 TiN 코팅의 경우가 WC 코팅의 경우보다 더 우수한 결과를 보였다.

참 고 문 헌

1. Rangert B, Jemt T, Jörneus L: Forces and moments on Brane-mark implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1989;4:241-247.
2. Lee MS, Suh KW, Ryu JJ: Screw joint stability under cyclic loading of zirconia implant abutment. *J Korean Acad Prosthodont* 2009;47:164-173.
3. Charles JG, Guillermo Bernal, Kitichai Rungcharassaeng, Joseph Y. K. K: Clinical complications with implants and implant prostheses. *J Prosthet Dent* 2003;90:121-132
4. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Bränemark PI. A: 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int J Oral Surg* 1981;10:387-416.
5. Jörnénus L, Jemt T, Carlsson L: Loads and designs of screw joints for single crowns supported by osseointegrated implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1992;7:353-359.
6. Im SM, Kim DG, Park CJ, Cha MS, Cho LR: Biomechanical considerations for the screw of implant prosthesis: A literature review. *J Korean Acad Prosthodont* 2010;48:61-68.
7. Al Jabbari YS, Fournelle R, Ziebert G, Toth J, Iacopino AM: Mechanical behavior and failure analysis of prosthetic retaining screws after long-term use in vivo. Part 1: Characterization of adhesive wear and structure of retaining screws. *J Prosthodont* 2008;17:168-180.
8. Park WJ, Cho IH: Fatigue fracture of different dental implant system under cyclic loading. *J Korean Acad Prosthodont* 2009;

47:424-434.

9. Kim JM, Han JS, Lee SY, Yang JH, Lee JB, Kim YS: A study of screw loosening after dynamic continuous fatigue test of several abutment screw. *J Korean Acad Prosthodont* 2003; 41:519-531.
10. Lim TW, Cho IH, Lim JH, Lim HS: On the fatigue strength of dental implants with different types of connection between fixture and abutment cylinder. *J Korean Acad Stomatognathic Func Occlusion* 2002;18:1-19.
11. Morgan MJ, James DF, Pilliar RM: Fractures of the fixture component of an osseointegrated implant. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993;8:409-414.
12. Piattelli A, Piattelli M, Scarano A, Montesani L: Light and scanning electron microscopic report of four fractured implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998;13:561-564.
13. Koak, JY, Heo, SJ, Chang, IT, Yim, SH, Lee, JY, Lee, KR: The study on the removal torque of the diamond like carbon coated titanium abutment screws. *J Korean Acad Prothodont* 2003;41:128-135.
14. Karl M, Kelly JR: Influence of loading frequency on implant failure under cyclic fatigue conditions. *Dent Mater* 2009;25: 1426-432.
15. Park IS, Won SY, Bae TS, Song KY, Park CW, Eom TG, Jeong CM: Fatigue characteristics of five types of implant-abutment joint designs. *Met Mater -Int* 2008;14:133-138.
16. Kayabasi O, Yüzbasioglu E, Erzincanli F: Static, dynamic and fatigue behaviors of dental implant using finite element method.

Adv Eng Softw 2006;37:649-658.

17. Lee CK, Karl M, Kelly JR: Evaluation of test protocol variables for dental implant fatigue research. Dent Mater 2009;25:1419-425.
18. Callister WD: Materials Science and Engineering An Introduction, Wiley, New York, 5th Ed, 2000; 222.
19. Elias CN, Figueira DC, Rios PR: Influence of the coating material on the loosing of dental implant abutment screw joints. Mater Sci Eng C 2006;26:1361-366.
20. Haack JE, Sakaguchi RL, Sun T, Coffey JP: Elongation and preload stress in dental implant abutment screws. Int J Oral Maxillofac Implants 1995;10:529-36.
21. Kuhn G, Tavernier B, Jordan L: Influence of structure on Nickel-titanium endodontic instrument failure. J Endod 2001; 27:516-520.
22. Marco JF, Agudelo AC, Gancedo JR, Hanel D: Corrosion resistance of single TiN layers, Ti/TiN bilayers and Ti/TiN/Ti/TiN multilayers on iron under a salt fog spray (phohesion) test: an evaluation by XPS. *Surface and Interface Analysis* 1998; 27:71.
23. Choe HC, Hong KS, Ko YM, Kim BO: Surface analysis of clinically failed dental implant fixture. J Kor Inst Met. & Mater. 2006;44:400-411.

저작물 이용 허락서

학 과	치의학과	학 번	20087555	과 정	박사
성 명	한글 : 이 충환	한문 : 李 忠 煥	영문 : Lee, Chung-Hwan		
주 소	대구광역시 수성구 황금1동 태왕아너스 101-903				
연락처	E-MAIL : neulsalang@hanmail.net				
논문제목	한글 : 피로파절특성에 미치는 임플란트 지대주나사의 코팅영향				
	영문 : Coating Effect of Implant Abutment Screw on the Fatigue Fracture Characteristics				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

- 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
- 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
- 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
- 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간중료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
- 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
- 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
- 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의() 반대()

2010년 8월 일

저작자: 이 충환 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하