



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 원저작자를 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 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

2021년 2월  
박사학위논문

TiAlN, ZrN, 및 DLC  
코팅한 절삭기구를 이용하여 제작된  
지르코니아 코어의 변연적합도 평가

조선대학교 대학원

치 의 학 과

손 효 진

# TiAlN, ZrN, 및 DLC 코팅한 절삭기구를 이용하여 제작된 지르코니아 코어의 변연적합도 평가

Marginal fit of zirconia cores manufactured using  
TiAlN, ZrN, and DLC coated milling tool

2021년 2월 25일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

손 효 진

TiAlN, ZrN, 및 DLC  
코팅한 절삭기구를 이용하여 제작된  
지르코니아 코어의 변연적합도 평가

지도교수 손 미 경

이 논문을 치의학 박사학위신청 논문으로 제출함.

2020년 10월






조선대학교 대학원

치 의 학 과

손 효 진



## 손효진의 박사학위 논문을 인준함

위원장	조선대학교	교수	최한철	
위원	광주여자대학교	교수	문상은	
위원	광주보건대학교	교수	박지일	
위원	조선대학교	교수	허유리	
위원	조선대학교	교수	손미경	

2020년 12월

조선대학교 대학원

# 목 차

ABSTRACT .....	vi
I. 서 론 .....	1
II. 실험 재료 및 방법 .....	3
1. 시료 준비 .....	3
2. 시편의 코팅 .....	3
1) TiAlN 코팅 .....	3
2) ZrN 코팅 .....	5
3) DLC 코팅 .....	5
3. 절삭기구의 코팅 표면 및 성분 분석 .....	5
1) 코팅 표면 분석 .....	5
2) EDS 및 XRD 성분 분석 .....	5
4. 코팅에 따른 기계적 특성 변화 분석 .....	6
1) 거칠기 시험 .....	6
2) 비커스 경도 시험 .....	6
3) 밀착력 시험 .....	6
4) 내마모성 시험 .....	6
5) 통계 분석 .....	7
5. 지르코니아 코어의 변연적합도 측정 .....	7
1) 금속 주모형 제작 .....	7
2) 지르코니아 코어 제작 .....	8
3) 변연적합도 측정 .....	10
4) 통계 분석 .....	12

III. 결 과 .....	13
1. 절삭기구의 코팅 표면 및 성분 분석 결과 .....	13
1) 코팅 표면 분석 결과 .....	13
2) EDS 및 XRD 성분 분석 결과 .....	16
2. 코팅에 따른 기계적 특성 변화 분석 결과 .....	19
1) 거칠기 시험 결과 .....	19
2) 비커스 경도 시험 결과 .....	20
3) 밀착력 시험 결과 .....	21
4) 내마모성 시험 결과 .....	23
3. 지르코니아 코어 변연적합도 결과 .....	24
IV. 총괄 및 고찰 .....	26
V. 결 론 .....	30
VI. 참고문헌 .....	31

## 표 목 차

Table 1. Deposition condition for TiAlN coating .....	4
Table 2 EDS analysis results of coated milling tools .....	17
Table 3. The surface roughness values of coated milling tools .....	19
Table 4. The vickers hardness values of coated milling tools .....	20
Table 5. The adhesion strength values of coated milling tools .....	21
Table 6. The wear loss values of coated milling tools .....	23
Table 7. The mean marginal gap( $\mu\text{m}$ ) at buccal, lingual, mesial, and distal points .....	25

## 도 목 차

Figure 1. TiAlN coating system .....	4
Figure 2. Metal die .....	7
Figure 3. CAD/CAM zirconia design process .....	9
Figure 4. Zirconia cores manufactured by coated milling tools .....	9
Figure 5. Static load equipment .....	11
Figure 6. Segmentation of a silicone replica in the mesiodistal and buccolingual directions .....	11
Figure 7. Measurement of marginal gap by digital microscope at $\times 160$ magnification .....	12
Figure 8. Coated milling tools .....	14
Figure 9. Coated disks .....	14
Figure 10. FE-SEM micrographs of coated milling tools .....	15
Figure 11. EDS analysis of coated milling tools .....	17
Figure 12. XRD peaks of coated milling tools .....	18
Figure 13. The surface roughness results of coated milling tools .....	19

Figure 14. The vickers hardness results of coated milling tools ..... 20

Figure 15. The adhesion strength results of coated milling tools ..... 21

Figure 16. The scratch test photos of coated milling tools ..... 22

Figure 17. The wear loss results of coated milling tools ..... 23

Figure 18. The mean marginal gap of zirconia cores manufactured by  
coated milling tools ..... 25

## ABSTRACT

### Marginal fit of zirconia cores manufactured using TiAlN, ZrN, and DLC coated milling tool

Son, Hyo-Jin

Advisor : Prof. Son, Mee-Kyoung, D.D.S., Ph.D.

Department of Dentistry

Graduate School of Chosun University

**Purpose** : The purpose of this study was to compare the surface characteristics of TiAlN, ZrN, and DLC coated milling tools and to compare the marginal fit of zirconia cores manufactured by coated milling tools.

**Material and Methods** : TiAlN, ZrN, and DLC coated tools were analyzed by field-emission scanning electron microscopy, X-ray diffractometer, surface roughness tester, vickers hardness tester, adhesion strength tester, and wear resistance tester to evaluate the surface characteristics and cutting performance. Measured values was analyzed through the use of Kruskal-Wallis H test and Bonfferoni post-hoc analysis. To evaluate the marginal gap according to the change in cutting efficiency after a certain use of the milling tool, each of 10 zirconia cores were manufactured using coated milling tools. The marginal gap were determined and measured using silicone replica technique. For accurate measurement, digital microscope and Image J program were used. ANOVA, Kruskal-Wallis H test and Scheffe, Bonfferoni post-hoc analysis were performed for the statistics analysis.

**Results** : The size of the coating particles was large in the order of TiAlN > ZrN > DLC, and the density of the coating particles was high in the order TiAlN > ZrN > DLC. The surface roughness and hardness values of coated tools were also high in the order of TiAlN > ZrN > DLC. ZrN coating showed the best for the adhesion strength, and DLC coating showed the best for the wear resistance. The mean marginal fit of zirconia cores were 25.32  $\mu\text{m}$  in ZrN, 27.90  $\mu\text{m}$  in DLC, and 37.70  $\mu\text{m}$  in TiAlN. The marginal gap of three types coated tools were lower than that of non-coated tool(56.90  $\mu\text{m}$ ). There was significant statistically difference between coated and non-coated tools( $p < .01$ ).

**Conclusions** : Zirconia cores of all groups showed the clinical acceptable marginal gap of within 120  $\mu\text{m}$ . It is expected that the coating of the milling tool make increase the tool life and there will be an effect of increasing the marginal fit when used for a long time.

**Keywords** : Zirconia, Marginal fit, TiAlN-, ZrN-, DLC-coatings



## I. 서 론

최근 치과 영역에서 지르코니아 보철물은 심미성이 요구되는 전치부 보철물 뿐 아니라, 저작압이 가해지는 구치부 보철물, 그리고 다수 치아 결손의 연결 보철물에 이르기까지 응용범위가 점차 확대되고 있다. 지르코니아는 생체적합도, 투과성과 내마모성, 색조안정성이 우수하고 저작압을 견딜 수 있는 충분한 강도를 갖추고 있어 임상에서 사용빈도가 점차적으로 증가되고 있다[1].

반면, 지르코니아는 금속과 유사한 강도를 갖기 때문에 일반적인 주조과정이 아닌 CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) 시스템을 이용한 기계적 절삭과정을 통해 제작된다. 치과에서의 CAD/CAM 시스템은 구강이나 모형을 스캔하는 단계부터 데이터를 처리하고 디자인하는 단계, 최종 보철물을 제작하는 단계로 이루어진다. 치과에서 지르코니아 보철물의 사용이 증가하면서 치과용 CAD/CAM의 기기 및 기술은 최근 눈부신 발전을 이루고 있으며, 이를 바탕으로 지르코니아 보철물 제작은 더욱 편리해지고 제작의 정밀도도 매우 높아지고 있다.

하지만, 일반적인 금속 주조 보철물도 인상채득이나 가공과정에서 오차가 발생되듯이, CAD/CAM 시스템을 이용한 보철물도 스캔이나 절삭 등 각 단계에서 오차가 발생할 수 있으며 이는 보철물의 적합도에 문제를 야기할 수 있다. 보철물의 변연적합도는 구강 내 수복물의 수명과 성공 여부를 결정짓는 중요한 요소 중 하나이다. 변연적합도가 불량한 보철물은 치태를 축적시키는 원인이 되어 치주염을 일으키고, 또 시멘트의 누출로 인한 보철물의 탈락이나 치아의 2차우식증을 일으킴으로써 수복물의 실패를 야기하는 주된 원인이 된다[2]. Sturdevant 등(1999)은 CAD/CAM 제작과정 중 변연 간극의 차이가 날 가능성은 일차적으로 삭제된 지대치를 스캐너를 이용하여 3차원적 입력 시에 발생하고 컴퓨터 프로그램에서 기포 등의 오류를 수정하는 과정에서 발생한다고 보고하였다[3]. 또 Mormann와 Schug(1997)은 절삭 과정에서 발생하는 기계의 떨림이나 회전축의 흔들림, 절삭 공구의 마모와 같은 형태 결함에 의한 오류가 나타날 수 있다고 보고하였다[4]. 이외에도 기존의 많은 연구들에서는 보철물의 변연 형태, 스캔 방식, 밀링기기의 회전축의 차이 등이 지르코니아 보철물의 적합도에 영향을 줄 수 있다고 보고한 바 있다. 하지만, 밀링기기에 연결하여 지르코니아 블록을 절삭하는 가공용 절삭기구(milling tool)의 코팅 표면처리와 일정 시간 사용 후 마모에 따른 보철물

의 변연적합도를 비교하는 연구는 거의 이루어지지 않았다. 실제 지르코니아 블록의 절삭을 위해 밀링기기에 연결하여 사용하게 되는 절삭기구는 사용시간이 오래되면 마모가 되는 소모품적인 성격이 강하다. 이로 인해 작업시 소모품 여러개의 절삭기구를 사용하여 발생하는 비용의 증가와 교체 시간으로 인한 효율성 감소, 마모된 절삭기구를 적절한 시간에 교체하지 않았을 때 수복물의 정밀도, 특히 마진부위의 적합성에 문제를 야기함이 제기되어 왔다. 따라서, 이러한 문제를 줄이기 위하여 오랜 시간 사용후에도 마모저항성이 강하여 초기 절삭력을 유지할수 있는 절삭기구를 개발하여 보철물의 변연적합도를 향상시키는 것이 필요하다.

본 연구의 귀무가설은 ‘코팅한 절삭기구와 코팅하지 않은 절삭기구를 사용하여 제작한 지르코니아 코어의 변연적합도는 차이가 없다’ 이다. 코팅되지 않은 절삭기구를 대조군으로, 코팅된 절삭기구를 실험군으로 하여 4가지 절삭기구를 일정 시간 사용한 후 지르코니아 코어 시편을 제작하여, 절삭기구의 마모에 따른 변연적합도를 비교 평가하고자 하였다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 시료 준비

본 연구에서는 실제 임상에서 사용되는 CAD/CAM 밀링 절삭기구(2DBED, JJ tools, Korea)를 3가지 방법으로 코팅하기 위하여 대조군과 실험군으로 사용될 절삭기구 직경 1 mm, 2 mm를 각각 16개씩 준비하였다. 또한, 코팅에 따른 경도나 내마모성 등의 기계적 특성을 평가하기 위하여, 밀링기구와 성분이 동일한 Co-Cr-W 합금 디스크 시편(직경 2 cm, 폭 3 mm)을 총 14개 제작하였다.

### 2. 시편의 코팅

밀링 절삭기구( $\varnothing 1\text{mm}$ ,  $\varnothing 2\text{mm}$ )와 합금 디스크 시편을 각각 4개씩 TiAlN, ZrN, DLC 코팅을 시행하였다.

#### 1) TiAlN (Titanium aluminum nitride) 코팅

음극 진공 아크 증발법 (CVAD : cathodic vacuum arc deposition) 공정을 이용하여 TiAlN 박막을 제조하였다(Fig. 1). 챔버 장입 전 기판 청정은 아세톤, 에틸-알콜로 각각 5분간 초음파 세척을 실시하였다. 아크 증발원은 Ti, TiAl 타겟을 서로 마주보게 설치하고, 타겟과 시편은 250 mm 간격으로 위치시켰으며, 2-fold 축 회전을 실시하였다. 기본 진공도는  $9.9 \times 10^{-6}$  Torr이고, 공정 진공도는  $\text{N}_2$ 를 500 sccm으로 흘러보내  $1.0 \times 10^{-2}$  Torr로 하였다. 기판 온도는  $500^\circ\text{C}$ 로 1시간을 가열하였고, 진공조에 장입 후 기판 전압 650V, Ti 60A 조건에서 Ti 금속이온을 이용하여 기판 청정을 실시하였다. 밀착력 확보를 위하여 TiN을 코팅하고 그 표면에 핵심 물성층인 TiAlN 박막 제조 시에 Ti 타겟과 TiAl 타겟에 각각 60A, 70A의 전류 값을 인가하였으며, 기판 전압은 75V로 고정하여 코팅을 실시하였다. 코팅한 시편의 두께를 코팅막 측정 장비를 이용하여 측정하였으며, TiN  $0.5 \mu\text{m}$ , TiAlN  $1.6 \mu\text{m}$ 로 총  $2.1 \mu\text{m}$  두께로 코팅을 하였다(Table 1)(TiAlN으로 코팅된 시편은 TiAlN으로 표기한다).

Table 1. Deposition condition for TiAlN coating.

Variable	Condition
Ultrasonic cleaning	Alcohol, Acetone each 5min
Basic vacuum degree	$9.9 \times 10^{-6}$ Torr
Process vacuum degree	N <sub>2</sub> 500sccm, $1.0 \times 10^{-2}$ Torr
Substrate temperature	500 °C
Arc target current	Ti : 60A, TiAl : 70A
Substrate voltage	TiN : 75V, TiAlN : 75V

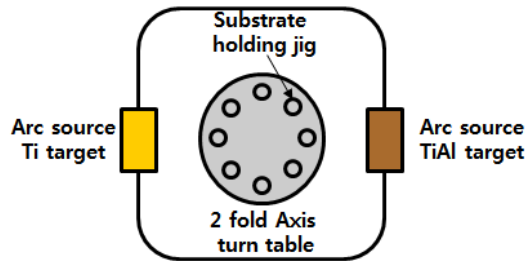


Fig. 1. TiAlN coating system.

## 2) ZrN (Zirconium nitride) 코팅

코팅 공정은 진공 플라즈마 아-크 이온 플레이팅법으로 아크 전류와 타겟 크기는 100A와 80 mmØ, Ar 및 질소가스를 사용하여 Ar 가스를 7 sccm, 질소 가스를 100 sccm으로 흘려보내 진공도를  $3 \times 10^{-3}$  torr로 하였다. 코팅 시간은 1시간으로 두께가 약  $2 \mu\text{m}$ 가 되도록 시행하였다(ZrN으로 코팅된 시편은 ZrN으로 표기한다).

## 3) DLC (Diamond-like carbon) 코팅

시편 표면을 200 mA, 2 kV 조건에서 2시간 동안 에칭 처리 후, PVD법으로 코팅을 시행하였다. Cr 버퍼층 형성을 위하여 스퍼터를 30분 동안 유지하고, Cr과 CrN으로 각각 10분씩 코팅한 후, 마지막으로 300 mV, 1.5 kV 조건에서 3시간 동안 DLC 코팅하여 총 3단계로 코팅을 완성하였다(DLC로 코팅된 시편은 DLC로 표기한다).

# 3. 절삭기구의 코팅 표면 및 성분 분석

## 1) 코팅 표면 분석

코팅된 절삭기구를 육안으로 관찰한 후 미세조직을 관찰하기 위하여 초음파 세척을 통해 표면의 이물질을 제거하고 준비한 시편은 KCN과  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 을 1:1로 혼합하여 부식액으로 에칭한 후 주사 전자 현미경(S-4800, Hitachi, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

## 2) EDS 및 XRD 성분 분석

코팅된 절삭기구의 표면의 성분을 분석하기 위하여 초음파 세척을 통해 표면의 이물질을 제거하고 준비한 시편은 KCN과  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 을 1:1로 혼합하여 부식액으로 에칭한 후 EDS(S-4800, Hitachi, Japan), XRD(X'pert, Philips, Netherlands)를 이용하여 결정구조를 분석하였다.

## 4. 코팅에 따른 기계적 특성 변화 분석

### 1) 거칠기 시험

코팅된 절삭기구의 거칠기 시험을 위해 대조군과 3가지 종류로 코팅된 디스크 시편이 사용되었다. 시험조건은 tip size 5  $\mu\text{m}$ , speed 0.5 mm/s, 및 length 4.00 mm로 설정하고, 표면거칠기 측정기(M.SE-1700, Kosaka Laboratory Ltd, Japan)를 이용하여 5회씩 측정하였다. 결과값은 평균과 표준편차로 표기하였다.

### 2) 비커스 경도 시험

코팅된 절삭기구의 비커스 경도 시험을 위해 대조군과 3가지 종류로 코팅된 디스크 시편이 사용되었다. 시험조건은 load 0.3 kg, load time 10 sec로 설정하고, 비커스 경도기(DM-20, AFFRI, Italy)를 이용하여 10회씩 측정하였다. 결과값은 평균과 표준편차로 표기하였다.

### 3) 밀착력 시험

코팅된 절삭기구의 밀착력 시험을 위해 3가지 종류로 코팅된 디스크 시편이 사용되었다. 시험조건은 load 0.1~50N, scratch length 10 mm, 및 scratch speed는 0.10 mm/s로 설정하였고, 스크래치 시험기(RST<sup>3</sup>, Anton Paar, Austria)를 이용하여 5회씩 측정하였다. 결과값을 평균과 표준편차로 표기하였다.

### 4) 내마모성 시험

코팅된 절삭기구의 내마모성 시험을 위해 3가지 종류로 코팅된 디스크와 ball on disk 마모시험기(Triboss PD-102, R&D, Korea)를 사용하여 측정하였다. Ball on disk 마모시험은 건식마모시험으로 일반 대기 상태에서 진행되었으며, KS L ISO 20808을 사용하여 load 10N, distance 2000m, 및 speed는 100 mm/s로 설정하여 손실마모량 ( $\text{mm}^3$ )을 측정하였다. 내마모성 시험은 총 5회 실시하였고, 결과값을 평균과 표준편차로 표기하였다.

## 5) 통계 분석

거칠기 시험, 비커스경도 시험, 밀착력 시험 및 내마모성 시험 결과값의 통계적 유의성을 평가하기 위해 Window용 SPSS 통계 프로그램(SPSS v22.0, IBM, USA)를 이용하여, 각 집단 샘플수가 10개 미만인 경우 세 집단 이상의 종속변수의 평균 차이를 볼 때 사용되는 Kruskal-Wallis의 H 분석과 사후검증으로 Bonfferoni를 시행하였다.

## 5. 지르코니아 코어의 변연적합도 측정

### 1) 금속 주모형 제작

악형 모형(Dentiform)의 하악 우측 제 1대구치의 교합면 기능교두 2 mm, 비기능 교두 1.5 mm, 협설과 인접면은 1.2 mm, 측면경사는 6° 를 갖도록 삭제하고, 마진의 폭과 형태는 협면은 1.2 mm deep chamfer로, 설면은 0.5 mm chamfer로 삭제하였다. 삭제된 치아모형을 3차원 광학 스캐너(S600, Zirkonzahn, Italy)를 이용해 스캔한 후 밀링센터로 전송하여 5축 밀링기기(RXD5, Roders GmbH, Germany)로 1개의 코발트 크롬 금속 모형을 제작하였다(Fig. 2).



Fig. 2. Metal die.

## 2) 지르코니아 코어 제작

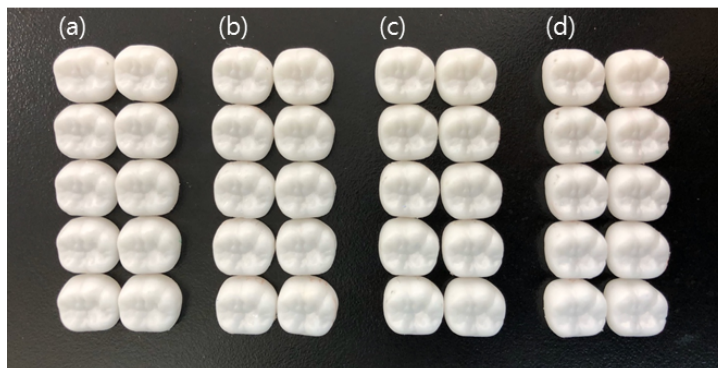
코발트 크롬 금속 치아모형을 3차원 광학스캐너(S600, Zirkonzahn, Italy)로 스캔하여 삭제된 지대치의 이미지를 획득하였다. 이때 금속의 빛 반사를 줄이기 위하여 탄산칼슘과 이산화 티타늄을 함유한 스프레이(Scan spray, Labotech, Korea)를 금속다이에 뿌려 스캔하였다. 스캔된 금속 다이의 형태를 CAD/CAM 소프트웨어(Modelier, Zirkonzahn, Italy)에서 불러온 후 시멘트 두께 10  $\mu\text{m}$ , 시작시점 2 mm, 마진두께 0.15 mm, 마진높이 0.2 mm로 설정하여 디자인하고, STL 파일로 저장한 후 제작파일을 CAD/CAM 밀링기에 전송하였다(Fig. 3). 크기가 다른 두 종류의 절삭기구( $\text{\O}1\text{mm}$ ,  $\text{\O}2\text{mm}$ )가 동시에 사용되었고, 대조군과 TiAlN, ZrN 및 DLC로 코팅된 절삭기구를 동일한 조건에서 100시간 동안 블록(Luxan Smile, DM Factory, Korea)을 밀링하여 사용한 후, 그룹별로 지르코니아 코어를 10개씩 샘플링하고, 제조사의 지시에 따라 소결과정을 거쳤다(Fig. 4).





**Fig. 3. CAD/CAM zirconia design process:**

(a) save image, (b) margin line, (c) 10 $\mu$ m of virtual cement spacer at 2mm above the margin, and (d) crown.



**Fig. 4. Zirconia cores manufactured by coated milling tools:**

(a) Control, (b) TiAlN, (c) ZrN, and (d) DLC.

### 3) 변연적합도 측정

변연 간극의 측정방법으로 Silicone replica technique을 이용하였다[5]. 먼저 지르코니아 코어 내면에 light body silicone(Examaixfine Injection Type, GC, Japan)을 주입하고 지르코니아 코어를 지대치에 적합시켜 정하중기에 위치시킨 후 50N의 하중으로 10분간 수직압력 하에 경화시켰다(Fig. 5). 경화가 완료되면 지르코니아 코어를 지대치로부터 조심스럽게 제거하고, 금속 지대치에 부착된 얇은 silicone film을 안정화시키기 위하여 부가적으로 regular body silicone(Examixfine Regular type, GC, Japan)을 덮어주어 형태를 유지할 수 있도록 하였다. Regular body silicone의 경화가 완료되면 인상재로부터 금속 다이를 제거한 후, 협·설과 근·원심의 정중앙으로 4분할 하였다(Fig. 6). 총 40개의 시편을 4분할하여 총 160군데의 측정 부위를 측정하였다. 측정값은 한 부위당 5회씩 측정하여 평균값을 나타내었다.

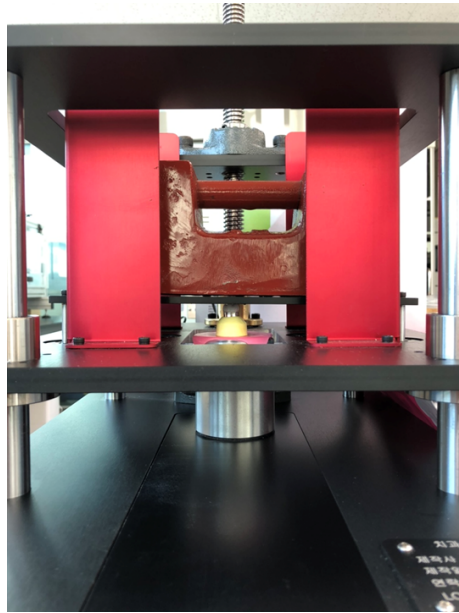


Fig. 5. Static load equipment.



Fig. 6. Segmentation of a silicone replica in the mesiodistal and buccolingual directions.

변연간극의 정의는 Holmes 등[6]이 발표한 연구에서의 기준과 같이 지대치 모형으로부터 시편까지의 수직적인 거리로 정의하였다. 시편의 절단된 단면은 결합 여부를 확인하기 위하여 먼저 육안검사를 시행한 후 디지털 전자 현미경(SZ5D40-B5, Sunny, Korea)을 이용하여 50배 확대하여 촬영하고 Image J 프로그램을 이용하여 해당값을 측정하였다(Fig. 7). 1명의 측정자가 지정된 4부위를 5회에 걸쳐서 측정한 후 평균값을 산출하였다.

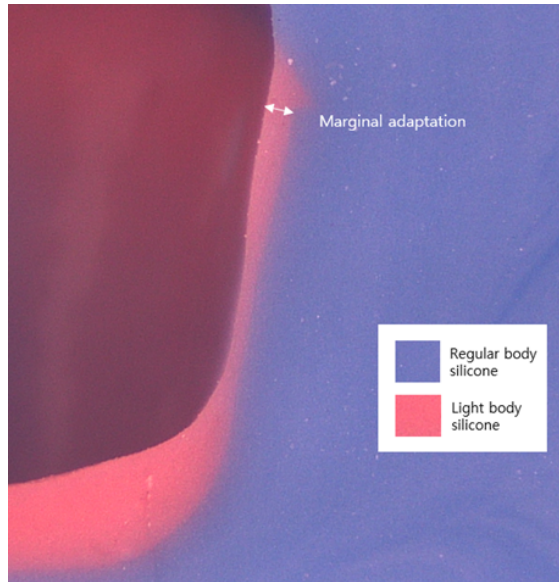


Fig. 7. Measurement of marginal gap by digital microscope at  $\times 160$  magnification.

#### 4) 통계 분석

대조군과 TiAlN, ZrN, 및 DLC로 코팅된 절삭 기구에 의해 제작된 지르코니아 코어의 변연 간극이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 분석하기 위해 Window용 SPSS 통계 프로그램(SPSS v22.0, IBM, USA)를 이용하여 정규성 검증을 실시하였다. 정규성 집단은 일원배치분산분석(one-way ANOVA)과 사후검증으로 Scheffe검증을 사용하였고, 비정규성 집단은 Kruskal-Wallis의 H와 사후검증으로 Bonfferoni를 시행하였으며, 유의수준은 5%로 평가하였다( $\alpha = .05$ ).

### III. 결 과

#### 1. 절삭기구의 코팅 표면 및 성분 분석 결과

##### 1) 코팅 표면 분석 결과

절삭기구를 육안으로 관찰한 결과, 대조군은 금속의 색깔인 회색빛을 띠며, TiAlN은 자줏빛을 띤 회색, ZrN은 노란색, DLC는 검은색으로 코팅에 따른 색깔 차이가 분명하게 관찰되어 코팅이 잘 이루어졌음을 알 수 있었다(Fig. 8). 또한 절삭기구의 기계적 특성을 평가하기 위해 제작한 TiAlN, ZrN, 및 DLC 디스크에서도 코팅 종류에 따라 색의 차이가 분명히 나타났다(Fig. 9).

SEM을 이용하여 절삭기구의 미세조직을 관찰한 결과, 대조군은 나사산과 나사골이 마모된 부분 없이 정교하게 제작된 것을 볼 수 있었다(Fig. 10a). 표면은 코팅 물질의 발견 없이 거친 형상을 보이며, 확대한 사진에서는 표면에서 심한 기계적 가공에 의한 흔적이 발견 되었다(Fig. 10a-1). TiAlN 코팅된 절삭기구의 표면에는 다량의 코팅 입자가 관찰되었는데 보통 물리적인 증착 방법(physical vapor deposition, PVD)으로 코팅한 표면에서 스퍼터링이나 플라즈마에 의해 발생한 droplet으로 TiAlN 코팅이 균일한 상태로 잘 되었음을 알 수 있었다(Fig. 10b). 전반적으로 코팅 물질의 밀도가 높고, 다량의 코팅 입자가 관찰되며, 확대한 사진에서 코팅 물질은 다소 거친 형태로 균일하지 않은 다량의 코팅 입자가 알갱이 형태로 치밀하게 존재함을 알 수 있었다(Fig. 10b-1). ZrN을 코팅한 표면에서는 ZrN 코팅 입자가 TiAlN 코팅 입자에 비해 크기가 작고 균일한 양상을 보였다(Fig. 10c). 확대한 사진에서 ZrN 입자가 표면 전체에서 고루 분포하며 비교적 균일하고 매끈한 형태의 입자들이 다량 관찰되었다(Fig. 10c-1). DLC를 코팅한 표면에서는 코팅 입자의 크기가 작고 드문드문 관찰되며(Fig. 10d), 이미지를 확대한 사진에서 코팅 입자가 TiAlN이나 ZrN에 비교해 코팅 물질이 기저표면에 압착되어 거칠고 불균일하게 관찰되며, 코팅의 입자는 크기가 작고 밀도가 낮은 양상을 보였다(Fig. 10d-1). 코팅 입자의 크기는 TiAlN이 가장 컸으며, ZrN, DLC 순서였다. 코팅 입자의 밀도 또한 TiAlN > ZrN > DLC 순서로 높은 양상을 보였다. 코팅 입자는 DLC가 가장 균일하였고, ZrN, TiAlN 순서로 균일한 양상을 보였다.

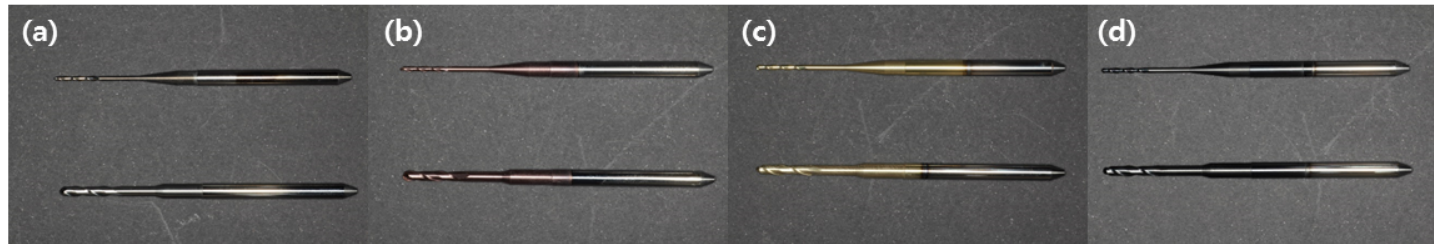


Fig. 8. Coated milling tools. (a) Control, (b) TiAlN, (c) ZrN, and (d) DLC.

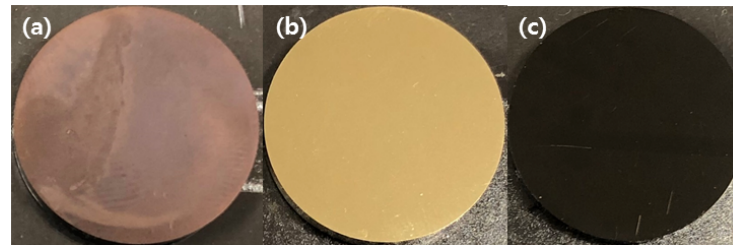


Fig. 9. Coated disks. (a) TiAlN, (b) ZrN, and (c) DLC.



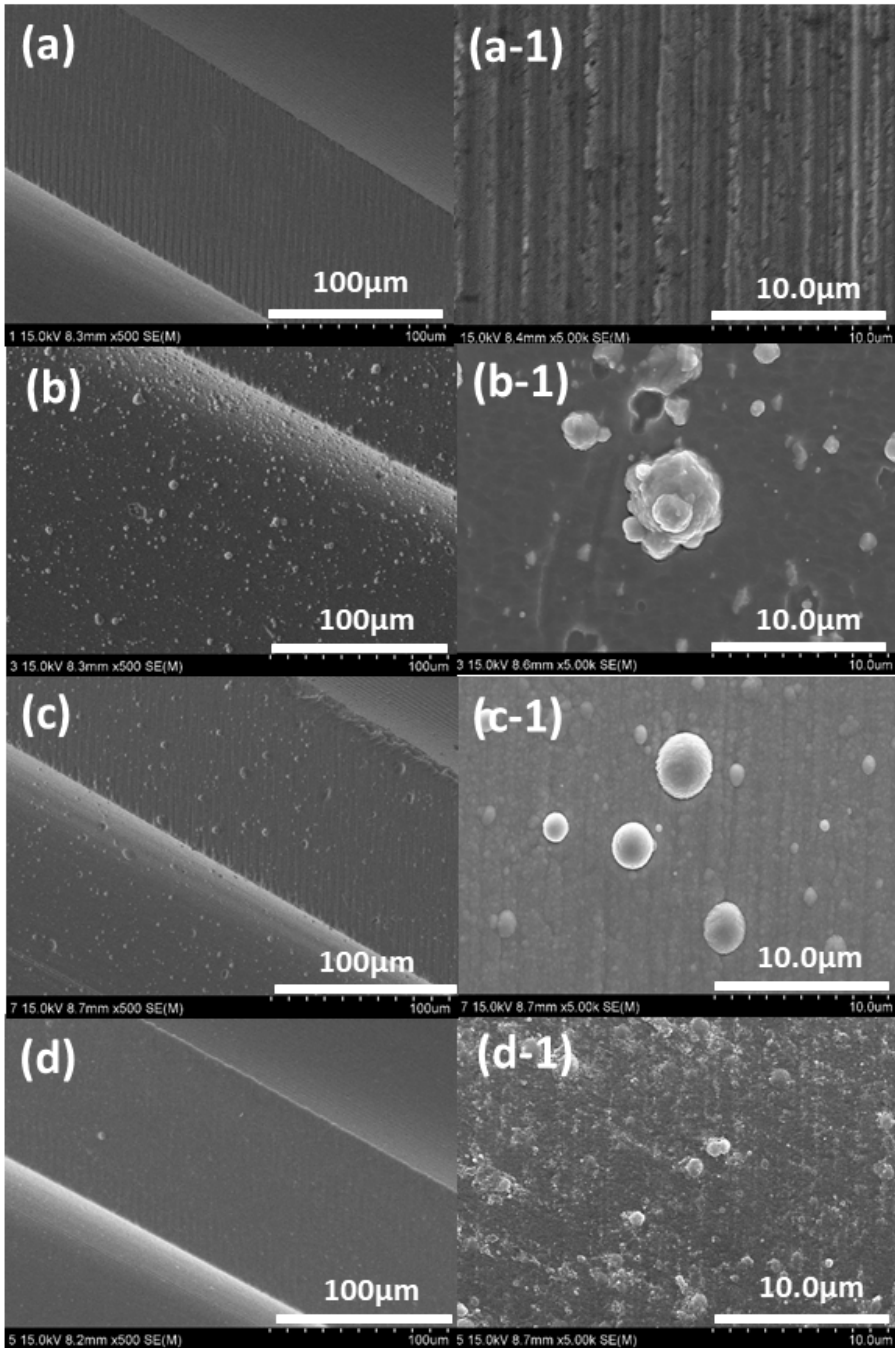


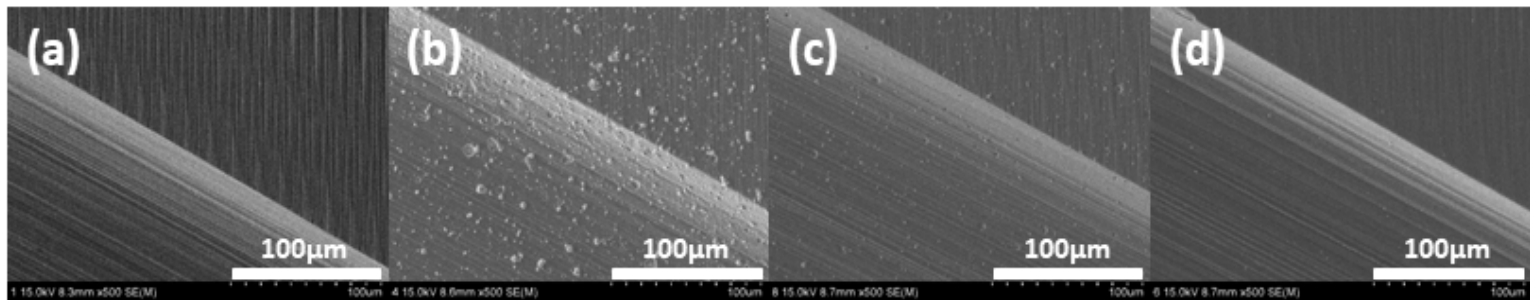
Fig. 10. FE-SEM micrographs of coated milling tools:  
 (a, a-1) Control, (b, b-1) TiAlN, (c, c-1) ZrN, and (d, d-1) DLC.

## 2) EDS 및 XRD 성분 분석 결과

EDS 분석 결과, 대조군은 W 성분이 94.77 wt.%로 가장 많이 검출되었고, TiAlN 코팅에서는 Ti 성분이 47.59 wt.%로 대부분을 차지하며 코팅이 잘 이루어짐을 알 수 있었다. ZrN 코팅에서는 Zr 성분이 79.51 wt.%로 대부분을 차지했고, DLC 코팅에서는 C 성분이 91.97 wt.%로 주요 코팅물질인 탄소로 이루어졌음을 알 수 있었다(Fig. 11, Table 2).

XRD 분석 결과, 대조군(Co-Cr-W)의 XRD peak와 비교해 보면, DLC 코팅의 경우 DLC 특유의 결정구조에서 나오는 피크들이 관찰되며, TiAlN이나 ZrN의 경우 코팅막에서 회절되어 나오는 피크들로 구성되어 있다. 모든 코팅 물질이 잘 이루어졌음을 확인할 수 있었다(Fig. 12).





**Fig. 11. EDS analysis of coated milling tools:**  
 (a) Control, (b) TiAlN, (c) ZrN, and (d) DLC.

**Table 2. EDS analysis results of coated milling tools.**

Element	Control	TiAlN	ZrN	DLC
Weight(%)	Cr K	0.33	N K	91.97
	Co K	4.89	Al K	4.83
	W M	94.77	Ti K	0.53
				2.67
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

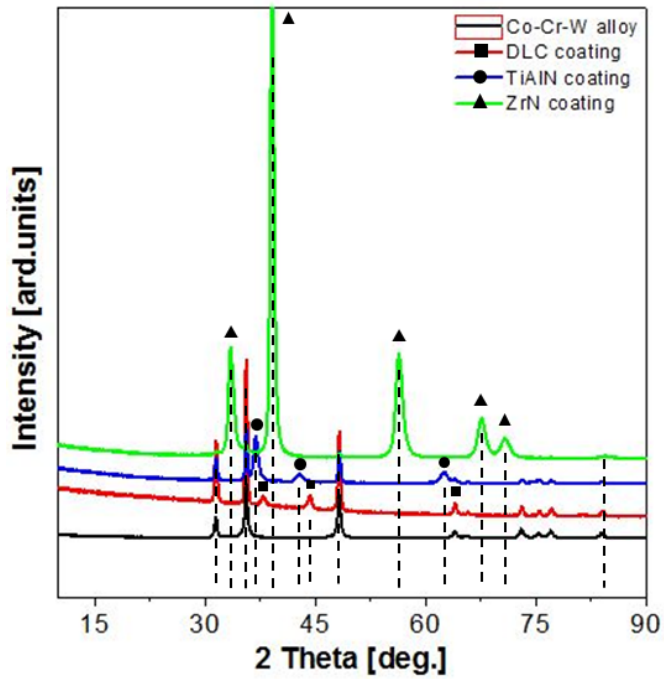


Fig. 12. XRD peaks of coated milling tools.

## 2. 코팅에 따른 기계적 특성 변화 분석 결과

### 1) 거칠기 시험 결과

표면 거칠기 시험결과, TiAlN > ZrN > DLC = Control 순서로 거칠었으며, 코팅된 절삭기구 중 거칠기를 최소화한 그룹은 DLC이었다(Fig. 13). 통계검정 결과,  $\chi^2$  값이 15.916이고 유의확률이 0.001이므로 거칠기에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있었다( $p < .01$ )(Table 3).

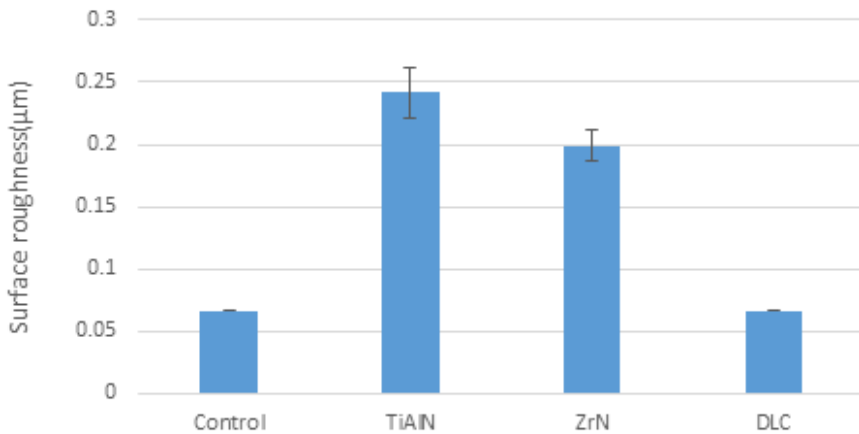


Fig. 13. The surface roughness results of coated milling tools.

Table 3. The surface roughness values of coated milling tools.

Variable	Group	Mean	SD	$\chi^2$	p	Post hoc
Surface roughness( $\mu$ m)	Control	.067	.0005	15.916	.001**	TiAlN > Control, DLC
	TiAlN	.241	.0229			
	ZrN	.199	.0140			
	DLC	.067	.0017			

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

## 2) 비커스 경도 시험 결과

비커스 경도 시험결과, 경도값은 TiAlN > ZrN > DLC > Control 순으로 높았으며, 코팅된 절삭기구의 경도값이 모두 대조군보다 높게 나타났다(Fig. 14). 통계검정 결과,  $\chi^2$  값이 23.455이고 유의확률이 0.000이므로 경도에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있었다( $p < .01$ ).

표면에 나타난 압흔자국은 대조군에서 가장 크게 관찰되었고, TiAlN으로 코팅한 경우는 압흔 자국이 가장 작게 나타나 표면경도가 높고 안정적으로 코팅막을 유지하고 있음을 알 수 있었다(Table 4).

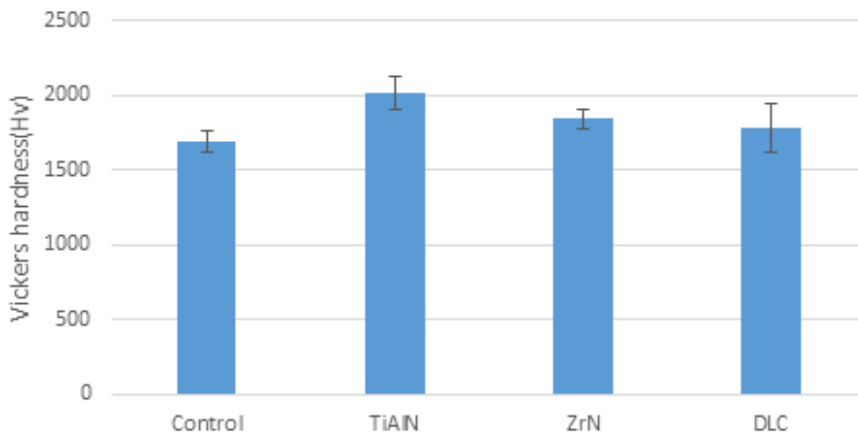


Fig. 14. The vickers hardness results of coated milling tools.

Table 4. The vickers hardness values of coated milling tools.

Variable	Group	Mean	SD	$\chi^2$	p	Post hoc
Hardness(Hv)	Control	1688.20	79.955	23.455	.000**	TiAlN > Control, DLC
	TiAlN	2017.30	115.164			
	ZrN	1841.70	64.220			
	DLC	1784.60	160.795			

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

### 3) 밀착력 시험 결과

밀착력 시험결과, TiAlN과 ZrN의 경우 높은 밀착력을 보인 반면, DLC는 상대적으로 낮은 밀착력을 보여 코팅물질과 기지와와의 결합력이 약함을 확인 할 수 있었다(Fig. 15). 통계검정 결과,  $\chi^2$  값이 10.147이고 유의확률이 0.006이므로 밀착력에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있었다( $p < .01$ )(Table 5).

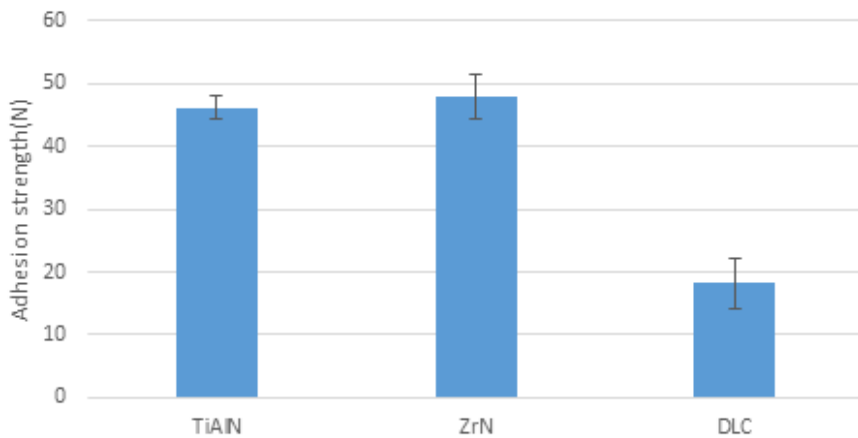


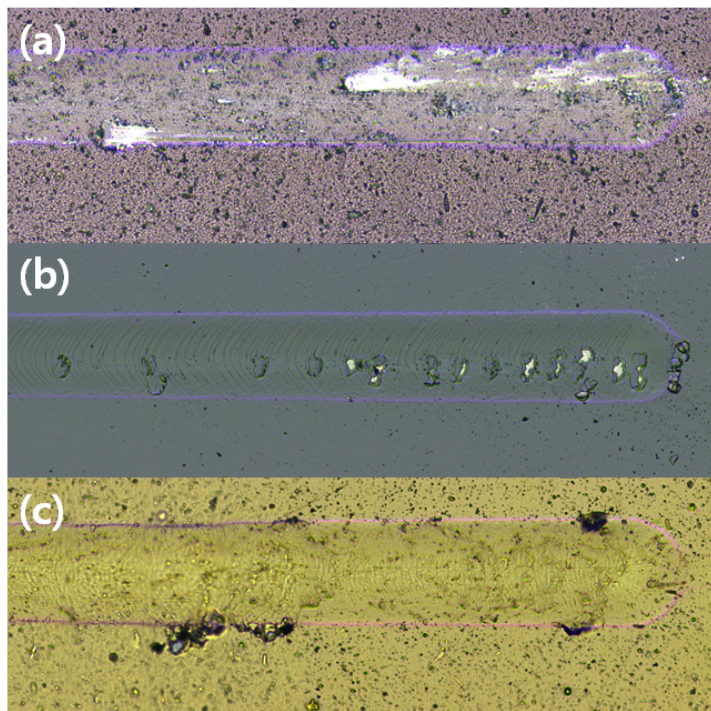
Fig. 15. The adhesion strength results of coated milling tools.

Table 5. The adhesion strength values of coated milling tools.

Variable	Group	Mean	SD	$\chi^2$	p	Post hoc
Adhesion strength(N)	TiAlN	46.20	2.168	10.147	.006**	ZrN > DLC
	ZrN	48.00	3.937			
	DLC	18.20	4.438			

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

스크래치 시험 결과, TiAlN과 ZrN의 경우 거친 마찰 흔적이 관찰되었는데, 이는 코팅층과 기지조직이 강하게 결합하고 있어 외력으로부터 크게 저항한 결과로 보인다. TiAlN의 경우 연성특성과 함께 긁힘 흔적이 부분적으로 거칠게 나타났고, ZrN 코팅의 경우 타원 모양으로 퍼져나가는 능선의 형태를 지닌 연성특성과 취성 파절에서 관찰되는 벽개 균열(cleavage)이 뒤로 갈수록 두드러져 보인다. DLC 코팅의 경우 연성 파절 형태가 관찰되나 TiAlN, ZrN에 비해 균일하고 비교적 큰 저항감은 관찰되지 않는다 (Fig. 16).



**Fig. 16. The scratch test photos of coated milling tools:**  
 (a) TiAlN, (b) ZrN, and (C) DLC.

#### 4) 내마모성 시험 결과

내마모성 시험결과, 동일한 힘을 가했을 때 코팅된 시편의 마모량은 ZrN > TiAlN > DLC 순서로 높았다. 이를 통해 마모에 견디는 성질은 DLC > TiAlN > ZrN 순서로 우수함을 알 수 있었다(Fig. 17). 통계검정 결과,  $\chi^2$ 값이 12.500이고 유의확률이 0.002이므로 내마모성에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있었다( $p < .01$ ) (Table 6).

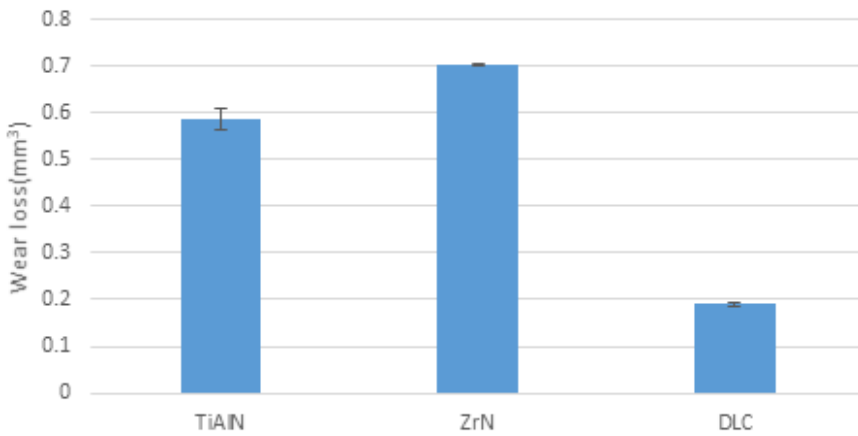


Fig 17. The wear loss results of coated milling tools.

Table 6. The wear loss values of coated milling tools.

Variable	Group	Mean	SD	$\chi^2$	p	Post hoc
Abrasion resistance(mm <sup>3</sup> )	TiAlN	.586	.0258	12.500	.002**	ZrN > DLC
	ZrN	.702	.0034			
	DLC	.190	.0047			

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

#### 4. 지르코니아 코어 변연적합도 결과

지르코니아의 변연 간극 측정결과, Buccal은 Control > TiAlN > DLC > ZrN 순서로 변연 간극이 크게 나타났다. 통계검정 결과, F값이 24.639이고 유의확률이 0.000이므로 Buccal에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있었다( $p < .01$ ). Lingual에서도 Control > TiAlN > DLC > ZrN 순서로 변연 간극이 크게 나타났고, 통계검정 결과, F값이 9.799이고 유의확률이 0.000이므로 Lingual에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있었다( $p < .01$ ). Mesial에서는 Control > TiAlN > DLC > ZrN 순서로 변연 간극이 크게 나타났고, 통계검정 결과,  $\chi^2$ 값이 28.319이고 유의확률이 0.000이므로 Mesial에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있었다( $p < .01$ ). Distal에서는 Control > TiAlN > ZrN > DLC 순서로 크게 나타났으나, ZrN과 DLC의 변연 간극의 값은 16.77  $\mu\text{m}$ , 16.27  $\mu\text{m}$ 로 크게 차이나지 않음을 알 수 있었다. 통계검정 결과, F값이 36.717이고 유의확률이 0.000이므로 Distal에 따라서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있었다( $p < .01$ ).

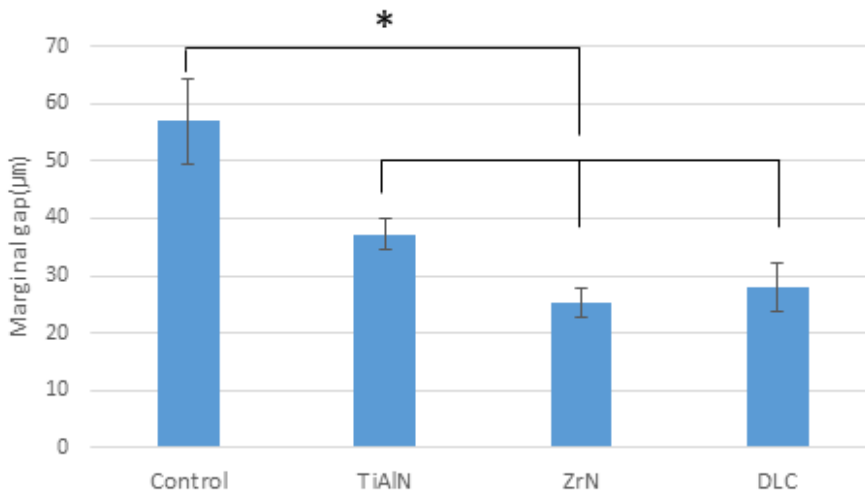
협·설, 근·원심외의 4부위 변연 간극의 평균값은 Control(56.90  $\mu\text{m}$ ) > TiAlN(37.20  $\mu\text{m}$ ) > DLC(27.90  $\mu\text{m}$ ) > ZrN(25.32  $\mu\text{m}$ )로 지르코니아 코어의 변연적합도는 ZrN > DLC > TiAlN > Control 순서로 우수함을 알 수 있었다(Fig. 18). 사후검정은 쌍대비교로서 각 집단 간의 평균 차이를 보기 위하여 Scheffe 검정과 Bonferroni 검정을 한 결과, Buccal과 Lingual에서는 Control > TiAlN, DLC, ZrN으로 Control과 3개의 코팅군 사이에 유의한 차이가 있었고, Mesial과 Distal에서는 Control > TiAlN > DLC, ZrN으로 Control과 3개의 코팅군사이 유의한 차이가 있었고, 3개의 코팅군 내에서도 TiAlN과 DLC, ZrN 사이에서 유의한 차이가 있었다( $p < .01$ )(Table 7).



**Table 7. The mean marginal gap( $\mu\text{m}$ ) at buccal, lingual, mesial and distal points.**

Marginal gap( $\mu\text{m}$ )	Group	Mean	SD	F/ $\chi^2$	p	Post hoc
Buccal	Control	58.47	11.592	24.639	.000**	Control > TiAlN, ZrN, DLC
	TiAlN	38.81	5.003			
	ZrN	28.27	9.558			
	DLC	31.04	7.137			
Lingual	Control	66.32	20.253	9.799	.000**	Control > TiAlN, ZrN, DLC
	TiAlN	49.01	7.857			
	ZrN	37.51	6.392			
	DLC	40.21	13.313			
Mesial	Control	54.68	15.885	28.319	.000**	Control > TiAlN > ZrN, DLC
	TiAlN	32.89	3.389			
	ZrN	18.74	2.457			
	DLC	23.98	12.080			
Distal	Control	48.10	14.295	36.717	.000**	Control > TiAlN > ZrN, DLC
	TiAlN	27.91	5.485			
	ZrN	16.77	2.056			
	DLC	16.27	1.734			

\*p<0.05, \*\*p<0.01



**Fig. 18. The mean marginal gap of zirconia cores manufactured by coated milling tools.**

## IV. 총괄 및 고찰

절삭기구를 코팅하는 방법에는 크게 2가지로 CVD(chemical vapor deposition)와 PVD(physical vapor deposition)가 있다. CVD 코팅에는 TiC, TiN, TiCN 등이 사용되고, PVD 코팅에는 TiN, TiCN, WC/C, CRN, TiAlN, Diamond 등의 재료들이 사용되고 있다[7]. 최근에는 CVD 코팅보다 PVD 코팅법을 더 많이 사용하는데 PVD 코팅은 CVD 코팅에 비해 경도가 높고, 입자가 조밀하며 표면 조도가 양호하다. 코팅의 크랙이 없으며 잔류 압축응력과 500° C 이하의 온도에서 코팅이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 PVD 코팅 기술은 아크증착법(Arc-evaporation), 스퍼터링(Sputtering), 이온주입법(Ion plating) 등이 있다. 코팅 물질로써 가장 보편적으로 경도가 높고 내마모성, 내산화성이 뛰어난 TiN이 많이 사용되어 왔지만 500~600° C 정도의 온도에서 산화가 일어남으로 인해서 내열재로서 한계가 있어 이를 보완하기 위해 3원 화합물 박막인 TiAlN 박막이 연구되고 있다. TiAlN 박막은 TiN에 비해 높은 경도를 가지고 있으며, 내식성 향상 및 낮은 열전도율의 특징을 갖는다. TiAlN은 일반적으로 800~1100° C 조건에서 코팅하여 다이아몬드와 같은 강도를 가지고 있으며, PVD 중 reactive sputtering 처리를 통해 절삭력, 공구마멸, 표면 거칠기 및 처리성을 높일 수 있다. TiAlN은 고온에서 산화성이 있어 고속가공이 가능하며 열전도가 낮아 절삭 날의 열응력을 감소시키고 대부분의 열이 칩으로 배출된다. 고온에서 강도와 안정성이 있어 고온 경도 및 고온 강도가 안정적이고 내마모성과 내산화성이 좋아 크레이터 마모를 감소시키는 장점이 있다[8]. ZrN은 금색에 가까운 색을 가지며 높은 열적 화학적 특성과 높은 경도, 낮은 전기적 저항성을 가져 절삭 공구, 생체 및 의료용으로 많이 사용되는데, PVD법으로 코팅될 경우 높은 경도와 내마모성을 갖는다[9]. ZrN은 타겟에 고전류, 저전압의 아크 플라즈마를 인가하여 증착 입자를 증발시키는 아크-이온 플레이팅법으로 코팅된다. DLC는 다이아몬드의 주성분인 탄소성분의 가스를 이용하여 진공 상태에서 플라즈마를 발생시켜 원하는 표면에 코팅막을 증착시킨다. 표면에 다이아몬드와 유사한 구조의 탄소막을 형성하여 탄소막은 비정질 구조를 가진다[10]. DLC 코팅의 특징으로는 비정질 고상 카본 필름의 하나로 다이아몬드와 유사한 높은 경도, 내마모성, 윤활성, 전기 절연성, 화학적 안정성 및 광학적 특성을 가진다[11]. 또한 마찰계수가 낮고 물리적, 화학적 특성이 우수하며 표면이 평탄하고 200° C 이하의 저온에서 합성할 수 있다. 마이크로(micro)미터 이하 두께의 코팅막으로도 우수한 마찰 특성

을 지낸다. 최근 L Chen[12]의 연구에서는 실리콘 기판상에 DLC 박막을 2 nm, 5 nm의 매우 얇은 두께로 증착했을 때 실리콘 기판의 임계 하중이 각각 75%, 125% 향상되었고, 습한 공기 또는 진공에서 2 nm의 DLC 박막은 마모 손상으로부터 실리콘 기판을 보호하는데 탁월한 내구성을 가지는 것으로 보고하였다.

절삭 공구의 박막 증착을 할 경우 성능 향상에 영향을 미치는 박막 인자는 거칠기, 경도, 내산화성, 밀착도, 내마모도 등이 있다. 표면거칠기는 표면 질감의 구성요소를 나타내며, 실제 개체가 해당 환경에 어떻게 상호작용을 하는지 결정하는데 중요한 역할을 한다. 마찰학에서 거친 표면은 일반적으로 매끄러운 표면보다 더 빨리 마모되고 마찰계수가 높다. 표면의 요철이 균열이나 부식에 대한 핵 생성 자리를 제공 할 수 있기 때문에 거칠기를 통해 기계 구성요소의 성능을 예측할 수 있다. 표면거칠기가 증가하면 내마모성은 감소하며, 밀착력이 증가하는 경향이 있다. 본 연구에서도 표면 거칠기는 TiAlN > ZrN > DLC > Control 순서로 거칠었고, 내마모성은 DLC > TiAlN > ZrN 순서대로 우수했다. 밀착력은 ZrN > TiAlN > DLC 순서로 높게 나타나 코팅된 절삭기구 중 DLC의 표면이 가장 매끄럽고 밀착력이 낮은 반면, 내마모성은 가장 우수한 결과를 보였다. 특이점은 코팅된 절삭기구는 코팅되지 않은 절삭기구에 비해 거칠기 값이 높게 나타났는데 Kang[13]의 연구에서는 치과용 Ni-Ti 파일에 TiN과 ZrN을 코팅한 결과 거칠기가 감소하였고, Gwag[14]의 연구에서도 임플란트 abutment screw에 AIP법을 이용하여 TiN과 ZrN을 코팅한 결과 코팅 물질이 표면에 균질한 피막으로 형성되어 표면 거칠기가 감소하였다. 선행연구에서는 코팅층의 단면부가 기존의 가공 결합 사이에 주상정 조직(columnar structure)인 특정 방향으로 결정이 성장하면서 표면의 결이 매끄러워졌다고 논의하였는데, 본 연구에서는 코팅 물질별 코팅방법의 차이로 코팅의 성장 방향과 코팅 물질의 크기가 일률적이지 않고, 거칠기가 높은 코팅물질이 코팅됨에 따라 절삭기구의 표면이 이전보다 더 거칠어진 것으로 생각된다. 기저 박막의 조성이나 입자의 크기 등으로 결정되는 경도는 주로 절삭 공구의 측면 마모(flank wear)에 주된 영향을 미친다. 경도가 높으면 피삭재로 접촉하여 절삭이 진행될 때 마찰 마모를 오래 유지할 수 있는데, 박막 증착 시간이 길어지면 박막의 입자 크기가 커져 경도가 떨어지기 때문에 이를 막기 위해 다층 코팅을 실시하기도 한다[15]. 본 연구에서는 TiAlN과 DLC가 다층코팅 되었고, 3종류로 코팅된 절삭기구의 표면 경도는 코팅되지 않은 절삭기구 보다 높았다. Kang[13]의 연구에서도 TiN과 ZrN으로 코팅한 경우가 코팅하지 않은 경우에 비해 높은 경도 값을 나타냈고, Jung[16]의 연구에서도 코팅하지 않은 경우에 경도 값이 가장 낮고, 다층막으로 코팅한 경우 경도 값이 가

장 높았다. 내마모도 평가는 동일한 절삭속도, 이송량, 절입 깊이 조건에서 일정 시간 동안 가공 후 시편의 마모량을 측정하여 비교하는 방법으로 본 연구에서 내마모성은  $DLC > TiAlN > ZrN$  순서로 우수했다. 3종류의 코팅의 표면을 관찰할 때 코팅 입자의 크기와 밀도는  $TiAlN > ZrN > DLC$  순서로 크고 높았는데, 이는 표면의 거칠기가 코팅입자의 크기와 밀도에 비례하여 증가하였고, 절삭기구 표면의 거칠기는 절삭 시 마모도에 영향을 주기 때문으로 생각된다. 밀착력은 코팅 물질이 절삭기구의 표면에 접착하고 있는 결합력으로, 에너지적인 관점에서 볼 때 기관으로부터 코팅층을 분리하는데 필요한 에너지의 양을 말한다. 금속 절삭 공구에 코팅하는 경우, 피절삭물이나 절삭되어 나오는 칩의 손상을 방지할 수 있어 공구의 수명 향상 뿐만 아니라 절삭면의 품질 향상과 고속 절삭으로 인한 생산성에 기여할 수 있다. 밀착력이 충분하지 않으면 계면 파괴에 의해 박막이 기관으로부터 분리되어 조기파괴 및 현저한 성능 저하의 결과를 가져온다[17]. 본 연구에서는 DLC의 밀착력이 가장 낮았는데, DLC 박막의 높은 잔류 응력과 탄소-탄소 결합의 불안정성은 금속 소재와의 밀착력을 감소시키고 박막 성능을 저하시킨다고 보고되고 있다[18].

대조군과 3종류의 코팅된 절삭기구를 동일한 조건으로 100시간 동안 지르코니아 블록을 밀링하여 사용한 후, 절삭기구의 마모에 따른 지르코니아 코어의 변연적합성을 평가하기 위해 지르코니아 시편을 각각 10개씩 제작하였다. 변연적합도를 평가하는 대표적인 방법으로 직접 보는 방법, 절단하여 보는 방법, 인상채득을 통해 평가하는 방법, 탐침에 의한 시각적 관찰, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 방법 등이 있다[19]. 절단하여 보는 것이 가장 정확한 방법이나 측정 부위를 늘리는 것이 어렵고, 측정부위를 늘리려면 그 만큼 정밀한 시편을 더욱 많이 제작해야 한다는 단점이 있다. Silicone replica technique은 Molin과 Karlsson 등[5]이 1993년 gold inlay와 ceramic inlay의 적합도 비교를 위한 연구에서 사용한 실험방법이다. 이 방법은 코어를 절단할 필요가 없기 때문에 간단하고, 코어 절단 시 생기는 변연의 변형을 막을 수 있으며, 측정부위의 수를 손쉽게 늘릴 수 있고 반복적인 측정도 가능하다는 장점이 있다. 과거에 이 방법의 정확도에 대해서 의문점이 제기되기도 하였지만, Habib 등[20]은 동일한 시편을 이용하여 내면 적합도를 비교측정 함으로써, 코어를 절단해서 관찰하는 전통적인 방법과 레플리카 테크닉을 사용한 경우의 정밀도를 비교 평가한 결과, 정밀도에서 두 방법 사이에 유의한 차이가 없다고 보고하였다. 또한 최근에는 부가 중합형 실리콘 인상재나 fit checker와 같은 정밀 인상재의 기능이 향상되어 더욱 정밀한 측정을 기대할 수 있게 되었다. Silicone replica technique 방법으로 측정 시 지르코니아 코어를 메탈 다이에

위치시킬 때 정하중기를 이용해 50N의 일정한 힘을 10분간 유지하였다. 보통 임상에서는 보철물을 지대치에 접착시킬 때 수압을 이용하여 고정시키지만, 측정값의 오차를 최소화하기 위하여 일정한 힘을 가할 수 있는 정하중기를 사용하였다. 또한 Yang 등[21]은 변연 적합도를 정확하게 비교하기 위해서는 한 시편의 변연 간극을 나타내는 평균값을 구하기 위해 적절한 측정횟수가 필요하다고 보고하였다. 이에 본 연구에서는 한 부위를 5회에 걸쳐서 측정하여 평균값을 산출하였다. 임상적으로 허용가능한 변연 적합도에 대해서는 아직 명확한 기준이 없지만 McLean과 Von Fraunhofer[22]은 5년 이상 구내에서 기능한 1000개의 보철물을 조사해 120  $\mu\text{m}$  이하가 임상적으로 받아들여질 수 있다고 보고하였다. CAD/CAM 시스템으로 제작된 지르코니아 코어의 변연적합도에 관한 연구들을 보면 Mirza 등[23]의 연구에서는 36.6  $\mu\text{m}$ ~66.4  $\mu\text{m}$  범위의 변연 간극을 보였고, Sven 등[24]은 98  $\mu\text{m}$ ~107.7  $\mu\text{m}$ , Huh 등[25]에서는 80  $\mu\text{m}$ ~96.37  $\mu\text{m}$ 로 모두 120  $\mu\text{m}$ 이내의 변연 간극을 나타냈다. 본 연구에서도 대조군과 코팅된 절삭기구를 이용하여 제작한 지르코니아의 평균 변연 간극은 ZrN은 25.32  $\mu\text{m}$ , DLC는 27.90  $\mu\text{m}$ , TiAlN은 37.70  $\mu\text{m}$ , Control은 56.90  $\mu\text{m}$ 로 모두 임상적으로 받아들일 수 있는 간격인 120  $\mu\text{m}$ 내에 있었다. 전반적으로 코팅된 절삭기구로 제작된 지르코니아 코어의 변연 간극은 코팅되지 않은 절삭기구를 사용할 때 보다 작은 간극을 보였고, 이는 통계적으로 유의하였다( $p < .01$ ). 사후검정에서는 4가지 그룹의 변연 간극의 쌍대비교로서 각 집단간의 평균차이를 보면 코팅된 절삭기구로 제작된 지르코니아 그룹과 코팅되지 않은 절삭기구로 제작된 지르코니아 그룹은 모든 측정부위에서 유의한 차이를 나타냈다( $p < .01$ ).

본 연구에서는 기존에 사용하고 있는 지르코니아 절삭기구(milling tool)에 TiAlN, ZrN, 및 DLC를 코팅하여 표면의 기계적 성능을 향상시킴으로써 절삭기구의 수명 증가 및 지르코니아 보철물의 변연적합도를 개선하였다. 대조군에 TiAlN, ZrN, 및 DLC로 코팅 시 물질별로 최적의 코팅방법이 달랐기 때문에 표면처리방식에 차이가 있었다는 점은 본 연구의 한계점이지만 코팅되지 않은 절삭기구와 코팅된 절삭기구 사용하여 동일시간 작업 시, 코팅된 절삭기구를 사용한 경우 더 높은 변연적합도의 보철물을 제작할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 코팅 물질별로 TiAlN, ZrN, DLC 코팅조건외의 최적화와 표면처리 개발에 있어서는 향후 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

1. 3가지 코팅의 표면을 관찰한 결과, 코팅 입자의 크기와 밀도는 TiAlN > ZrN > DLC 순서로 크고, 높은 양상을 보였다.
2. 3가지 코팅의 표면의 기계적 특성을 조사한 결과, 거칠기, 경도 값은 TiAlN > ZrN > DLC 순서로 높았다.
3. ZrN은 기지와 코팅 밀착력이 가장 좋았으며, DLC는 내마모성이 가장 우수하였다.
4. 코팅된 절삭기구를 이용하여 제작한 보철물의 변연적합도를 비교한 결과, 모든 코팅된 절삭기구를 이용하여 지르코니아 코어를 제작했을 때, 임상적으로 허용가능한 변연 간극(120  $\mu\text{m}$ )을 보였으며, 3가지 종류로 코팅된 절삭기구로 제작된 지르코니아는 코팅되지 않은 절삭기구로 제작한 지르코니아에 비해 변연적합도가 통계적으로 유의하게 높았다( $p < .01$ ).

위와 같은 결과를 통하여, 임상에서 지르코니아 가공용 금속 절삭기구에 코팅을 적용함으로써 절삭기구의 기계적 특성을 향상시키고 툴의 수명을 증가시킴으로 인해 비용 절감과 더불어 캐드캠을 이용한 보철물의 적합성 증가를 개선함에 도움이 될 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. Ha SJ, Cho JH. Comparison of the fit accuracy of zirconia-based prostheses generated by two CAD/CAM systems. *J Adv Prosthodont* 2016;8:439-448.
2. Grasso JE, Nalbandian J, Sanford C, Bailit H. Effect of restoration quality on periodontal health. *J Prosthet Dent* 1985;53:14-19.
3. Sturdevant JR, Bayne SC, Heymann HO. Margin gap size of ceramic inlays using second-generation CAD/CAM equipment. *J Esthet Dent* 1999;11:206-214.
4. Mormann WH, Schug J. Grinding precision and accuracy of fit of CEREC 2 CAD-CIM inlays. *J Am Dent Assoc* 1997;128:47-53.
5. Molin M, Karlsson S. The fit of gold inlays and three ceramic inlay systems. A clinical and in vitro study. *Acta Odontol Scand* 1993;51:201-206.
6. Holmes JR, Bayne SC, Holland GA, Sulik WD. Consideration in measurement of marginal fit. *J Prosthet Dent* 1989;62:405-408.
7. Söderberg S, Sjöstrand M, Ljungberg B. Advances in coating technology for metal cutting tools. *Met Powder Rep* 2001;56:24-30.
8. Yang W, Xiong J, Guo Z, Du H, Yang T, Tang J, Wen B. Structure and properties of PVD TiAlN and TiAlN/CrAlN coated Ti(C, N)-based cermets. *Ceram Int* 2017;43:1911-1915.
9. Purandare YP, Ehiasarian AP, Hovsepian PE. Structure and properties of ZrN coatings deposited by high power impulse magnetron sputtering technology. *J Vac Sci Technol* 2011;29:011004.
10. Wasy A, Balakrishnan G, Lee S, Kim JK, Kim TG, Song JI. Thickness dependent properties of diamond-like carbon coatings by filtered cathodic vacuum arc deposition. *Surf Eng* 2015;31:85-89.
11. Moriguchi H, Ohara H, Tsujioka M. History and application of diamond-like carbon manufacturing processes. *Sei Tech Rev* 2016;82:52-58.
12. Chen L, Yang MC, Song CF, Yu BJ, Qian LM. Is 2nm DLC coating enough to resist the nanowear of silicon. *Wear* 2013;302:909-917.

13. Kang HM. Surface behaviors of Ni-Ti file coated with TiN/Ti and ZrN/Ti multilayer[Thesis]. Chosun University;2008.
14. Gwag DM. Surface characteristics of TiN and ZrN coated abutment screw by using arc-ion plating method[Thesis] Chosun University;2011.
15. Tabakov VP, Vereschaka AS, Vereschaka AA. Multilayer composition coatings for cutting tools: formation and performance properties. *Mech Industr* 2017;18:706-714.
16. Jung SB. Study of physical properties and corrosion characteristic of TiN, TiAlN film by AIP[Thesis]. Chonnam University;2008.
17. Kim JH. Evaluation of failure modes and adhesion of DLC films by scratch test[Thesis]. Seoul National University of Science & Technology;2017.
18. Nir D. Stress relief forms of diamond-like carbon thin films under internal compressive stress. *Thin Solid Films* 1984;112:41-50.
19. Sorensen JA. A standardized method for determination of crown margin fidelity. *J Prosthet Dent* 1990;64:18-24.
20. Habib YR, Georges ET, Salim MA, Albert SA, Khaldoun TR. In vitro evaluation of the “replica technique” in the measurement of the fit of procerca crowns. *J Contemp Dent Pract* 2008;9:25-32.
21. Yang JH, Yeo IS, Lee SH, Han JS, Lee JB. Marginal fit of Celay/In-ceram, conventional In-Ceram and Empress 2 all-ceramic single crowns. *J Kor Acad Prosthodont* 2002;40:131-139.
22. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 1971;131:107-111.
23. Mirza RB, Keson BC, Jack IN. Evaluation of the marginal fit of a zirconia ceramic computer-aided machined (CAD) crown system. *J prosthet Dent* 2010;104:216-227.
24. Sven R, Daniel F, Nikolaus G, Katharina L, Matthias R. Multifactorial analysis of the impact of different manufacturing processes on the marginal fit of zirconia copings. *Dent Mater J* 2012;31:601-609.
25. Huh JB, Park CG, Kim HY, Park CK, Shin SW. Evaluation using replica technique on the marginal and internal fitness of zirconia cores by several CAD/CAM systems. *J Adv Prosthodont* 2010;48:135-142.