



## Ti-Zr 합금의 경도와 내식성에 미치는 지르코늄의 영향

공지현<sup>1</sup>, 강명훈<sup>1</sup>, 박정은<sup>1</sup>, 김태환<sup>1</sup>, 김경선<sup>2</sup>, 배태성<sup>1</sup>, 이민호<sup>1\*</sup>

전북대학교 치의학전문대학원 치과생체재료학교실<sup>1</sup>  
 전주기전대학교 치위생과<sup>2</sup>

## Hardness and corrosion resistance of dental Ti-Zr alloy by changes of zirconium contents

Ji-Hyun Kong<sup>1</sup>, Myong-Hun Kang<sup>1</sup>, Jung-Eun Park<sup>1</sup>, Tae-Hwan Kim<sup>1</sup>,  
 Kyung-Seon Kim<sup>2</sup>, Tae-Sung Bae<sup>1</sup>, Min-Ho Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Dental Biomaterials, School of Dentistry, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Department of Dental Hygiene, Jeonju Kijeon college

Titanium alloy is actively investigated as an alternative material because the value of precious metals is soaring recently, and it is successfully used for implant prosthesis, partial frameworks, and metal-ceramic copings. In this study, Ti-Zr alloys were developed, and their physical characteristics were investigated with pure Ti for use as dental implant. A series of binary Ti-Zr alloys were fabricated with Zr contents of 2, 4, 6, 8, 10 and 12 wt%, and the corrosion resistance was measured by a potentiodynamic polarization test. Also, the micro-hardness of the Ti-xZr alloy was investigated using the micro-vickers test. The hardness and corrosion resistance of all the Ti-xZr alloys were found to be significantly higher than pure Ti ( $p < 0.05$ ), and in particular, the hardness increased as the content of Zr increased to 8 wt%, but decreased with the addition of more than 8 wt%Zr. As a result of the potentiodynamic polarization, the current density of all groups was lower than pure Ti due to the addition of Zr, it means that the addition of Zr less than 10 wt% increased the physical and electrochemical properties of Ti.

*Key words* : Ti-Zr alloys, microhardness, corrosion resistance

### 서론

티타늄 및 그 합금은 다른 금속재료와 비교하여 우수한 부식저항성, 생체적합성, 고비강도 및 경계성 때문에 의과나 치과 등의 영역의 임플란트 재료로서 그 사용이 증가하고 있다 (Long과 Rack, 1998). 주로 사용되는 재료는 1960년대부터

순수한 티타늄 및 Ti-6Al-4V 합금으로 한정되어 사용하고 있다. Ti-6Al-4V 합금은 순수한 티타늄과 비교하여 기계적 성질이 우수하기 때문에 플레이트, 나사 및 치과용으로 응용되고 있으나, 알루미늄과 바나듐 이온의 용출이 건강에 악 영향을 미치기 때문에 대체 재료의 개발이 이루어지고 있다(Walker 등, 1989; Yumoto 등, 1992; Rao 등, 1996).

티타늄 합금의 기계적, 물리적 및 화학적 특성은 합금성분 및 미세조직 뿐만 아니라 결정구조의 형태에 따라 크게 달라지며  $\alpha$ 형,  $\beta$ 형,  $\alpha + \beta$ 형으로 분류한다.  $\alpha$ 형은 고온강도 및 크리프 특성이 우수하나 냉간가공성이 취약하며 열처리 에 의

\* Correspondence: 이민호 (ORCID ID: 0000-0001-6142-4876)  
 전북 전주시 덕진동 덕진구 전북대학교 664-14  
 치의학전문대학원 치과생체재료학교실  
 Tel: +82-63-270-4040, Fax: +82-63-270-4040  
 E-mail: mh@jbnu.ac.kr

Received: Dec. 05, 2017; Revised: Dec. 13, 2017; Accepted: Dec. 14, 2017

한 기계적 성질 변화가 어려운 것이 단점이다.  $\beta$ 형은  $\alpha$ 형에 비하여 탄성계수가 낮고 기계가공성이 우수하며, 열처리에 의해 강도를 향상시킬 수 있는 장점 때문에 생체재료용으로 활발한 연구가 진행되고 있다(Sridhar와 Sarma, 1988; Lin 등, 1984).

치과용 보철물로 사용하는 금속재료는 환자에게 알리지 및 독성 반응이 없는 우수한 생체적합성을 가지고 있어야 한다. 이러한 결과로서, Nb, Ta, Mo, Zr 및 Sn 등이 티타늄에 가장 안전하게 선택되는 합금원소 들이다(Cui 등, 2009; Ho 등, 1999; Li 등, 2004).

현재 CAD/CAM 방법은 주조기술을 극복할 수 있는 방법이지만, 티타늄의 낮은 가공성 때문에 임상치과 영역에서의 사용빈도에 제약을 받는다. 만일 티타늄 보철물이 CAD/CAM으로 제작된다면 사용되는 도구의 수명은 짧아지며 제작시간은 길어질 것이다(Okuno, 1989; NAKAJIMA와 OKABE, 1996). 가공성을 개선할 수 있는 방법은 여러 가지가 있지만, 그 중 한 가지 방법이 합금화이다(Kikuchi 등, 2003b; Kikuchi 등, 2003a; KIKUCHI 등, 2003c; Kikuchi 등, 2006; TAKAHASHI 등, 2004).

치과 수복용으로 사용하는 금속은 알리지 반응이나 독성 등이 없는 생체적합성이 좋은 재료를 선택해야 한다. 지르코늄은 주기율표에서 IVB 족에 속하며 티타늄과 화학적 성질이 유사하게 알려져 있고 티타늄과 같은 족에 있다. Ti-Zr 합금은 낮은 탄성계수를 보이며, 개선된 기계적 특성을 갖는다고 보고되었다(원대회 등, 2011). 또한 Ti-Zr 합금은 좋은 부식저항성과 생체적합성이 양호한 것으로 보고되고 있다(Okazaki 등, 1996). 따라서 이러한 합금의 치과보철물에 사용하는 금속으로 추천되며, 용융점을 낮출 수 있다는 이점도 가지고 있다.

따라서 본 연구는 이원계의 티타늄 합금인 Ti-Zr 합금을 Zr의 함량(2, 4, 6, 8, 10, 12 wt.%)에 따라 제조한 후, Zr이 정도 및 부식저항성 등에 미치는 영향을 평가하여 Ti-Zr 합금에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 시편제작

본 연구에서는 Ti(99.9%) 및 Zr(99.9%)(Pure Chemical

Co., Japan) 등 순 금속을 사용하여 Zr의 함량을 2, 4, 6, 8, 10 및 12 등의 무게비로 계량하여 실험합금인 Ti-xZr 합금을 제조하였다. 합금 용해는 비소모성 아크용해로(Arc Skull Melting System, Acevacuum, Korea)를 사용하였으며, 균일한 합금조성을 위해 10회 뒤집어 가며 재용해한 후 잉고트를 제조하였다.

### 2. 내식성 측정

준비한 시편을 #240-#1200의 emery paper로 연마하였다. 연마 후 내식성 측정을 위한 동전위 분극시험의 시편은 Potentiostatic/ Galvanostatic (Parstat, 2273A, USA)를 이용하여 유사체액의 전해액에서 수행하였다. 유사체액(SBF, simulated body fluid)은 Hanks' 용액(H2387, Sigma Chemical Co, USA)에 calcium chloride dihydrate 0.185 g/l, magnesium sulfate 0.09767 g/l, sodium hydrogen carbonate 0.350 g/l 를 첨가하고 pH를 7.4로 조절하여 제조하였다. 또한 scan rate 5 mV/s로, scan 범위는 -0.6 - 0.5 V, 기준전극은 포화감홍전극(SCE, saturated calomel electrode)을, 상대전극은 Pt 전극을 사용하여 동전위분극(potentiodynamic polarization) 방법으로 부식전위와 부식전류를 측정하였다.

### 3. 마이크로 비커스경도 측정

표면조도 측정 경도는 마이크로비커스 경도기(Matsuzawa Seiki MHT-1, Japan)를 이용하여 300 gf의 하중으로 10초 동안 압입하여 각 시편 당 10회 측정하여, 최고치와 최저치를 제외하고, Microcal Origin 프로그램을 이용하여, 각 실험군에 대한 비교를 one-way analysis of variance (ANOVA)를 이용하여 통계분석을 시행하였고, 사후검증은 Tukey test로, 통계적인 유의 수준은 5%에서 검증하였다.

## 결과 및 고찰

의용재료로 응용하고 있는 티타늄 및 Ti-6Al-4V 합금은 1960년대부터 사용되어 왔으며, 기계적 성질 때문에 순 티타늄에서 Ti-6Al-4V 합금으로 대체되려는 노력을 하고 있다

(Khan 등, 1999). 그러나 최근 Al과 V 이온의 용출과 독성에 대한 생체적합성에 관심이 증대되고 있다(Kuroda 등, 1998). 그래서 Al과 V 함유 티타늄 합금을 독성이 없는 Nb이나 Zr 원소로 대체되려는 시도가 있고 특히 Zr은 주기율표에서 Ti과 같은 족에 속하며 Ti에 Zr을 첨가 시 기계적 성질과 좋은 부식 저항성 및 양호한 생체적합성을 보인다(Kuroda 등, 1998). 티타늄 합금은 합금원소에 따라  $\alpha$  형과  $\beta$  형으로 대별할 수

있으며,  $\beta$  안정화 원소는 동소형(isomorphous)과 공석형(eutectoid)으로 나눌 수 있으며, V, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta 및 Re 등은 동소형으로, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, W, Pd, Pt, Ag 및 Au 등은 공석형으로 분류된다(Donachie, 2000). 본 연구에서는 동소형  $\beta$  안정화 원소인 Zr을 첨가하여 Ti-Zr합금의 물리적 성질을 조사하였다.

Figure 1는 마이크로 비커스 경도기로 300 gf로 10초간 압

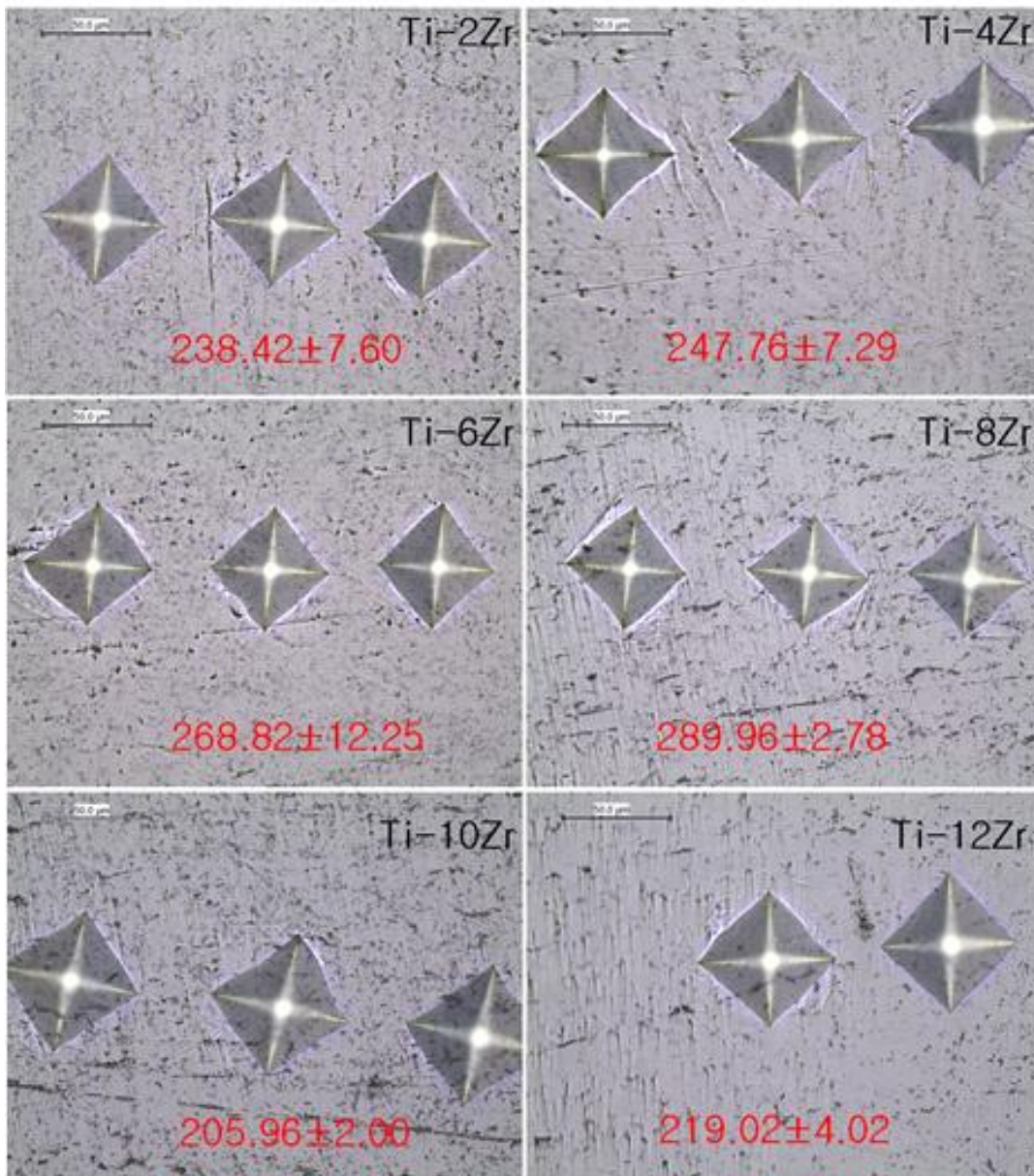


Figure 1. Optical micrographs of Ti-xZr alloys after indentation with microvickers hardness tester.

입하여 비커스경도 측정 후 표면의 광학현미경사진으로, 모든 시편에서 금속 압흔의 전형적인 형태의 뚜렷한 압흔이 관찰되었으며, 모서리 크랙이나 미세 크랙은 관찰되지 않았다.

Figure 2은 압흔의 크기로 산출한 비커스경도 값으로 모든 시편에서 순 티타늄보다는 유의하게 증가된 양상을 보였으며 ( $p < 0.05$ ), Ti-2Zr과 Ti-4Zr, Ti-10Zr과 Ti-12Zr의 시편에서는 유의한 차이를 보이지 않았으며( $p > 0.05$ ), 다른 시편들 간에는 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 본 실험에서 적용한 주조상태의 경도는 Zr의 함량이 증가할수록 증가하는 경향은 보이지 않고, Ti-8Zr 합금에서 가장 높은 경도 값인  $289.96 \pm 2.78$ 의 값을 보였다. 금속의 기계적 성질(강도, 파괴인성, 크리프 저항, 피로강도 및 연성)은 금속의 미세조직과 입자크기에 의해 좌우된다. Ti-Zr 합금의 미세구조는 Zr의 함량이 증가할수록 미세한  $\alpha$ 상의 주조직이 나타났으며, Ti-Zr 합금의 표면은 다수의 쌍정면이 발견되었다는 보고가 있다(원대회 등, 2011). 이러한 쌍정면은 Ti-Zr합금의 경도에 영향을 준다고 생각된다.

Figure 3과 Table 1은 Potentiostatic/Galvanostatic를 이용, 유사체액의 전해액에서 scan rate는  $5 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 동전위분극(potentiodynamic polarization)법으로 부식전위와 부식전류밀도를 측정된 것으로, 모든 Ti-xZr 합금은 순 티타늄에 비해 우수한 부식저항성을 보였으며, 특히 Ti-2Zr에서 가장 우수하게 나타났다. 부식전위( $E_{\text{corr}}$ )는 순 Ti와 비슷하거나 높게 나타났으며, Tafel slope 교차점에 해당하는 전류밀도 값은 순 Ti이 다른 시험군에 비해 높아, 내식성이 가장 낮았다.

티타늄 및 티타늄 합금은 높은 강도, 낮은 밀도, 그리고 비교적 낮은 탄성 계수로 인한 유연성 및 응력차폐 현상 방지 등 생체 재료로서 적합한 물리적 기계적 성질을 가지고 있을 뿐 아니라 비귀금속계 재료의 공통적인 문제점으로 지적되어 온 낮은 부식저항성과 낮은 생체 적합성까지도 극복할 수 있는 것으로 알려져 왔다. 체내에 매식되는 외과 및 치과 임플란트의 경우에는 주변 연조직 또는 경조직에서 혈액, 조직액 등 체액과 접한 상태에서 장기간 유지되어야 하며 일반 치과 보철물의 경우에도 체내에 직접 매식되지는 않지만 타액과 각종 음식물 성분에 지속적으로 노출되고 그 부산물의 대부분이 체내로 유입된다. 이러한 생체재료로 사용되는 금속재료는 체내나 뼈 주위 및 염소와 단백질 등이 함유되어 있는 체내환

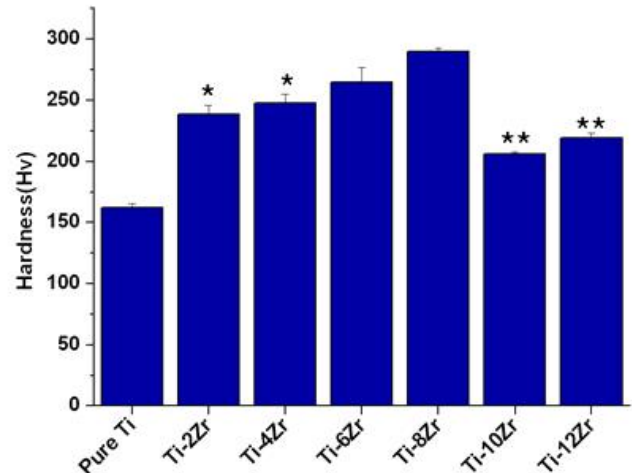


Figure 2. Microvickers hardness of pure Ti and Ti-xZr alloys. Each value and error bar represent the mean of various samples and its standard deviation. Values followed by the same symbols are not significant different from each other ( $p > 0.05$ ; ANOVA, comparison for all pairs using Tukey test).

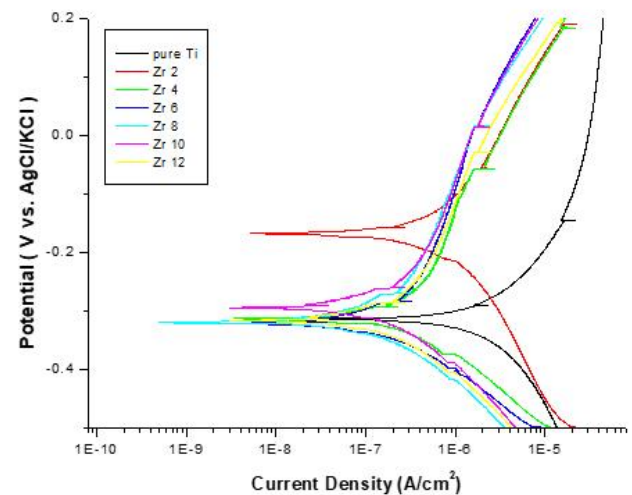


Figure 3. Polarization curves of pure Ti and Ti-xZr alloys.

경과 비슷한 유사체액에 접촉할 때 특히 부식의 속도가 매우 활발하다. 이러한 부식은 다양한 화학적 반응을 보이며, 임플란트의 표면에서부터 시작된다(Khan 등, 1999; 이중배, 2007).

Ti은 매우 활성이 커서 고온산화와 환원제조 시의 취급이 곤란하지만, 상온 부근의 물이나 공기 중에서는 부동태피막이 형성되어 금이나 백금 다음으로 우수한 내식성을 갖는다. 산

**Table 1.** Values of corrosion potential( $E_{corr}$ ) of pure Ti and Ti-xZr alloys.

Alloys	corrosion potential(V)
c.p.Ti	-0.314
Ti-2Zr	-0.168
Ti-4Zr	-0.314
Ti-6Zr	-0.322
Ti-8Zr	-0.320
Ti-10Zr	-0.294
Ti-12Zr	-0.313

성의 환경(질산, 크롬산 등)에서는 매우 안정하고 중성 또는 환원성 환경에서도 억제제의 병용이나 공기의 취입 등으로 안정성을 향상시킬 수 있다. 또 국소적 부식인 공식, 틈부식을 거의 일으키지 않고 용접가공이나 소성가공 등 화학장치의 제조·조립시공의 영향을 받은 부위도 모재에 비하여 내식성에 큰 차이가 생기지 않으며 응력부식균열의 발생사례도 극히 적은 것이 Ti의 장점이다. 또한 티타늄과 그 합금은 표면이 산화막으로 피복되면 금속이온이 유출되지 않기 때문에 우수한 내식성을 가지고 있으며 특히 스테인리스강의 결점인 응력부식이 거의 없다는 장점을 갖고 있다. 표면에 형성된 산화막에 대해서 이론적인 면과 임상적인 면으로 연구를 해야 한다. 이론적으로 티타늄은 여러 산화물을 형성할 수 있다. TiO, TiO<sub>2</sub>, Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 있으며 이 중에서 TiO<sub>2</sub>가 가장 안정하므로 생리 조건에서 가장 많이 사용된다. 이 산화물은 티타늄이 공기 중에 노출되면 수 1/1,000초 내에 10 Å 두께의 산화막이 저질로 형성되고 1분 내에 이 산화막은 100 Å 두께가 된다. 미식품의약품에 의하면 치과용 임플란트는 질산액에서 부동태막을 형성한 후에 시판되어야 한다고 규정되어 있지만 티타늄은 이런 자연스러운 방식으로 부동태막이 형성된다. 이론적으로 보면 이 산화막은 생리적인 상태에서는 파괴되지 않는다. 티타늄 합금에 포함된 티타늄의 농도가 85~95% 정도가 되어야 순티타늄과 같은 부동태를 유지할 수 있다. 임플란트가 인체에 들어오면 산화막과 생체환경간의 계면에서는 복잡한 반응이 시작된다. 산화막에서는 이온이 발생하여 금속으로부터 외부로 확산되며 생체환경으로부터 산화막으로 이온이 들어

온다. 그러므로 체내에서 형성된 산화막은 공기에서 형성된 산화막과는 다를 수도 있다. 이막의 형성속도와 성분은 매우 중요하다(대한치과재료학교수협의회, 2011). 본 연구에서는 티타늄에 지르코늄을 첨가하여 동전위분극법으로 유사체액에서 부식저항성을 측정된 결과, 모든 Ti-xZr 합금은 순 티타늄에 비해 우수한 부식저항성을 보였으며, 특히 Ti-2Zr에서 가장 우수하게 나타났다. 부식전위( $E_{corr}$ )는 순 Ti와 비슷하거나 높게 나타났으며, Tafel slope 교차점에 해당되는 전류밀도 값은 순 Ti이 다른 시험군에 비해 높아, 내식성이 가장 낮았다.

## 결론

본 연구는 치과용 보철물이나 임플란트 재료로 사용 가능한 비귀금속 중 티타늄과 완전고용체의 특성을 보이는 Ti-xZr의 이원계 합금을 제조하여, Zr의 함량에 따른 정도 및 부식저항성 등을 평가하였다. 마이크로비커스 정도값은 순 티타늄보다 모든 시험군에서 유의하게 증가하였으며( $p < 0.05$ ), Ti-8Zr 합금에서 가장 높은 정도 값인  $289.96 \pm 2.78$ 의 값을 보였다. 부식저항성 실험 결과, 모든 Ti-xZr 합금은 순 티타늄에 비해 우수한 부식저항성을 보였으며, 특히 Ti-2Zr에서 가장 우수하게 나타났다.

## 사사

본 논문은 공지현의 2013년도 석사 학위논문의 내용을 발췌 정리하였습니다.

## 참고문헌

- 대한치과재료학교수협의회. 2011. In *치과재료학 6판*. 서울: 군자출판사.
- 원대회 (2011) Zr 함량 변화에 따른 Ti-XZr계 타이타늄 합금의 특성 평가. *대한치과재료학회지*, 38:83-90.

- 이중배 (2007) 임플란트용 티타늄 및 티타늄 합금의 부식. *대한치과재료학회지*, 34:319-335.
- Cui, W., Z. Jin, A. Guo & L. Zhou (2009) High temperature deformation behavior of  $\alpha + \beta$ -type biomedical titanium alloy Ti-6Al-7Nb. *Materials science and engineering: A*, 499:252-256.
- Donachie, M. J. 2000. *Titanium: a technical guide*. ASM international.
- Eisenbarth, E., D. Velten, M. Müller, R. Thull & J. Breme (2004) Biocompatibility of  $\beta$ -stabilizing elements of titanium alloys. *Biomaterials*, 25:5705-5713.
- Ho, W., C. Ju & J. C. Lin (1999) Structure and properties of cast binary Ti-Mo alloys. *Biomaterials*, 20:2115-2122.
- Khan, M., R. L. Williams & D. F. Williams (1999) The corrosion behaviour of Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb and Ti-13Nb-13Zr in protein solutions. *Biomaterials*, 20:631-637.
- Kikuchi, M., Y. Takada, S. Kiyosue, M. Yoda, M. Woldu, Z. Cai, O. Okuno & T. Okabe (2003a) Grindability of cast Ti-Cu alloys. *Dental Materials*, 19:375-381.
- Kikuchi, M., Y. Takada, S. Kiyosue, M. Yoda, M. Woldu, Z. Cai, O. Okuno & T. Okabe (2003b) Mechanical properties and microstructures of cast Ti-Cu alloys. *Dental materials*, 19:174-181.
- KIKUCHI, M., M. TAKAHASHI & O. OKUNO (2003c) Mechanical properties and grindability of dental cast Ti-Nb alloys. *Dental materials journal*, 22:328-342.
- Kikuchi, M., M. Takahashi, H. Sato, O. Okuno, M. E. Nunn & T. Okabe (2006) Grindability of cast Ti-Hf alloys. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 77:34-38.
- Kuroda, D., M. Niinomi, M. Morinaga, Y. Kato & T. Yashiro (1998) Design and mechanical properties of new  $\beta$  type titanium alloys for implant materials. *Materials Science and Engineering: A*, 243:244-249.
- Li, S., R. Yang, M. Niinomi, Y. Hao & Y. Cui (2004) Formation and growth of calcium phosphate on the surface of oxidized Ti-29Nb-13Ta-4.6 Zr alloy. *Biomaterials*, 25:2525-2532.
- Lin, F.-s., E. Starke & A. Gysler (1984) The effect of microstructure on the deformation modes and mechanical properties of Ti-6Al-2Nb-1Ta-0.8 Mo: Part II. Equiaxed structures. *Metallurgical Transactions A*, 15:1873-1881.
- Long, M. & H. Rack (1998) Titanium alloys in total joint replacement-a materials science perspective. *Biomaterials*, 19:1621-1639.
- NAKAJIMA, H. & T. OKABE (1996) Titanium in dentistry. *Dental materials journal*, 15:77-90, 249.
- Okazaki, Y., S. Asao, S. Rao & T. Tateishi (1996) Effect of concentration of Zr, Sn, Nb, Ta, Pd, Mo, Co, Cr, Si, Ni, Fe on the relative growth ratios of bio-cells. *Journal of the Japan Institute of Metals*, 60:902-906.
- Okuno, O. (1989) Application of beta titanium alloys in dentistry. *Dentistry in Japan*, 26:101-104.
- Rao, S., T. Ushida, T. Tateishi, Y. Okazaki & S. Asao (1996) Effect of Ti, Al, and V ions on the relative growth rate of fibroblasts (L929) and osteoblasts (MC3T3-E1) cells. *Bio-medical materials and engineering*, 6:79-86.
- Sridhar, G. & D. Sarma (1988) Structure and properties of a near- $\alpha$  titanium alloy after  $\beta$  solution treatment and aging at 625°. *Metallurgical Transactions A*, 19:3025-3033.
- TAKAHASHI, M., M. KIKUCHI & O. OKUNO (2004) Mechanical properties and grindability of experimental Ti-Au alloys. *Dental materials journal*, 23:203-210.
- Walker, P. R., J. LeBlanc & M. Sikorska (1989) Effects of aluminum and other cations on the structure of brain and liver chromatin. *Biochemistry*, 28:3911-3915.
- Yumoto, S., H. Ohashi, H. Nagai, S. Kakimi, Y. Ogawa, Y. Iwata & K. Ishii (1992) Aluminum neurotoxicity in the rat brain. *International Journal of PIXE*, 2:493-504.

# Ti-Zr 합금의 경도와 내식성에 미치는 지르코늄의 영향

공지현<sup>1</sup>, 강명훈<sup>1</sup>, 박정은<sup>1</sup>, 김태환<sup>1</sup>, 김경선<sup>2</sup>, 배태성<sup>1</sup>, 이민호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 전북대학교 치의학전문대학원 치과생체재료학교실

<sup>2</sup> 전주기전대학교 치위생과

최근 귀금속의 가치가 급상승함에 따라 대체 치과 재료로서 티타늄 합금의 사용이 대두되고 있으며, 임플란트 보철, 부분 골조 및 금속-세라믹 코핑의 재료로서 사용이 증가하고 있다. 본 연구는 치과용 임플란트로 사용하기 위하여 Zr 함량에 따른 Ti-Zr 합금을 개발하고, 순수 Ti와 비교하여 물리적 특성을 평가하였다. 2원계 Ti-xZr 합금의 Zr 함량을 2, 4, 6, 8, 10 및 12 wt%로 변화하여 주조하였으며, 동전위 분극시험을 통해 내부식성을 측정하였고, 마이크로비커스 경도계를 이용하여 Ti-xZr 합금의 경도를 평가하였다. Zr 첨가에 따라 합금의 미세경도 및 내부식성은 순수한 티타늄보다 유의하게 높았으며, 특히 Zr의 함유량을 8 wt%로 증가함에 따라 경도가 증가하였으나, 그 이상 첨가 시 감소하는 경향을 보였다. 동전위 분극 시험 결과, Zr 첨가에 따라 모든 그룹의 부식전류밀도는 순수 티타늄보다 낮아 내부식성 개선을 보였으므로, 10 wt% 이하의 Zr 첨가는 Ti의 물리적, 전기화학적 특성을 증가시켰다.

**색인 단어 :** Ti-Zr 합금, Zr의 첨가, 미세경도, 내부식성