

Nb이 첨가된 Ti합금의 내식성 및 생체안정성

이도재 · 이광민 · 이경구 · 유창남 · 오태욱[†] · 김수학 · 윤택림*

전남대학교 공과대학 신소재공학부

*전남대학교 의과대학 정형외과

Effects of Nb Addition on Corrosion Resistance and Cytotoxicity Behavior of Ti Alloys

Doh-Jae Lee, Kwang-Min Lee, Kyung-Ku Lee, Chang-Nam Ryu, Tae-Wook Oh,
Soo-Hag Kim and Tack-Lim Yoon*

Dept. of Materials Science and Engineering, Chonnam National University

*Dept. of Orthopedics Surgery, Chonnam National University

(2003년 8월 5일 받음, 2003년 10월 31일 최종수정본 받음)

Abstract The corrosion resistance and cytotoxicity behavior of Ti alloys were studied as a function of Nb contents(3wt.%Nb, 20wt.%Nb, 40wt.%Nb). Ti-Nb alloys were melted by vacuum arc furnace and then rolled to 50% reduction ratio after homogenized at 1050°C for 24hrs. The corrosion resistance of Ti-Nb alloys were investigated by potentiodynamic polarization test in the 0.9% NaCl and 5% HCl solution. Biocompatibility of Ti-Nb alloys was evaluated by cytotoxicity test. The results can be summarized as follows : 1) The microstructure change from equiaxial to acicular and the increased β phase in Ti-Nb alloys were obtained as the Nb content increased. 2) For the corrosion test in the solution of 0.9% NaCl and 5% HCl, the corrosion behavior of Ti-Nb alloys was similar to ASTM grade 2 CP Ti. 3) For the cytotoxicity test, Ti-Nb alloys showed excellent biocompatibility compared to ASTM grade 2 CP Ti, 316L STS and Co-Cr alloys.

Key words titanium, Ti-Nb, cytotoxicity, biocompatibility, corrosion resistance

1. 서 론

생체용 재료로 이용되는 오스테나이트계 18Cr-8Ni 스테인리스 강, Co-Cr계 합금 등은 염소이온에 대한 내식성이 좋지 못하며, Co, Cr 등의 금속원소 이온의 용출로 인해 인체에 유해성이 있는 것으로 알려졌다. 또한 Ti계 생체재료 중 기계적 강도가 우수한 Ti-6Al-4V합금은 Okazaki와 Steinemann 등^{1,3)}에 의해 V의 세포독성 및 발암성 문제, Al의 알츠하이머형 치매에 대한 문제점이 보고 되었으며, Davidson⁴⁾에 의해 V의 유해성과 Al의 신경계 독성 가능성에 대한 문제점이 제기되었다. 또한 대부분 고관절에 부과되는 하중이 주로 대퇴 스템 (stem)을 통해 전달되므로 인체의 뼈와 금속의 탄성률 차이로 인해 응력 차폐현상 (stress shielding)이 나타나 뼈가 얇아지거나 흡수되며, 골 다공성이 증가하여 뼈와 생체용 합금의 적합도가 떨어지는 현상이 있다.^{5,6)} 이러한 탄성률은 스테인리스강 (STS 316L)과 Co-Cr-Mo계 합금은 뼈의 약 10배, $\alpha+\beta$ 형 Ti 합금은 4~10배, β 형 Ti 합금은 2~7배의 값을 갖는 것으로 알려져 있어 최근에는 β

안정화 원소를 이용하고 V이 함유되지 않은 Ti 합금 개발에 관심이 높아지고 있다. 생체용 금속재료 개발에는 기계적 특성, 내식성, 생체 적합성, 동물실험과 최종적으로 인체실험을 통한 적합성을 검증 받아야 하기 때문에 오랜 시간과 막대한 연구비가 소요될 뿐만 아니라 고도의 기술 축적과 고가의 장비가 소요된다. 이러한 요인으로 인하여 국내의 경우 소재를 전량 수입하여 screw나 plate 부품들을 가공하여 사용하는 단계이며, Al이나 V의 문제점이 알려진 기존의 Ti-6Al-4V 합금에 열처리를 통한 조직 변화 및 기계적 성질에 대한 연구나^{7,8)} CP Ti에 수산화아파타이트(hydroxyapatite)를 이용한 표면개질로 골과의 결합력을 증진시키고자 하는 연구가 주로 진행되었으며,⁹⁾ β 안정화 원소를 이용한 Ti 합금의 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존 생체용 재료로 사용되면서 강도문제가 제기되어온 CP Ti (ASTM grade 2)에 β 형 안정화 원소인 Nb을 첨가하여 α 형 (Ti+3wt.%Nb), $\alpha+\beta$ 형 (Ti+20wt.%Nb) 및 β 형 (Ti+40wt.%Nb) Ti-Nb계 합금을 제조하였으며, 상변화에 따른 Ti-Nb계 합금의 미세조직, 부식특성 및 세포독성에 대한 연구를 CP Ti과 비교, 분석하여 인체에 유해한 Al과 V이 포함되지 않은 Ti-Nb

[†]E-Mail : thanks2u@hanmir.com

계 합금이 생체용 재료로서의 적합성에 대한 연구를 실시하였다.

2. 실험 방법

원 재료로 CP Ti(ASM grade 2)을 사용하였으며 Nb 은 분말형태로 하여 사용하였다. 합금의 제조는 상태도 (Fig. 1)를 이용하여 α 형 Ti-3wt.%Nb, $\alpha+\beta$ 형 Ti-20wt.%Nb 및 β 형 Ti-40wt.%Nb 시편을 제조하여 각 조성 에 대한 성질 차이를 비교, 분석하였다. 합금의 제조 는 진공아크 용해하였으며, 용해 전후의 중량차가 0.1% 이하인 것만을 선택하여 실험을 수행하였다. 제조된 시 편은 아르곤 분위기 하의 관상로에 장입하여 1050°C에서 24시간 균질화 열처리를 실시한 후 압연을 위해 스테인리스 강관에 진공 봉입하였다. 봉입된 각 시료를 β 변태점보다 100°C 높은 온도에서 압연을 50%를 목표로 열간압연 하였고 마무리 처리는 β 변태점보다 100°C 낮은 온도에서 압연하였다. 압연 된 시편은 와이어 방전가 공을 통하여 규격에 맞게 절단하였다. 미세조직관찰은 Keller's 용액으로 에칭한 후 광학현미경(Olympus Co., PMG-3)과 주사전자현미경 (Phillips, XL30SFEQ, FE-SEM)을 이용하여 관찰하였으며, 내식성은 동전위 분극 시험법(potentiodynamic polarization test)으로 분석하였다. 기준 전극은 포화칼로멜 전극, 보조전극은 고밀도 탄소전극을 사용하였고 고순도 아르곤 가스를 사용하여 전해액 중의 용존산소를 충분히 제거하기 위해 탈 산소처 리를 행하였다. 부식시험은 0.9%NaCl 용액과 5%HCl 용 액에서 시행하였으며, 0.9%NaCl은 체액과 유사한 용액 으로 생체 내 환경에서의 부식특성을 평가하기 위함이다. 동전위 분극시험 중의 scan rate는 1.67 mV/min.으로 하였으며 동전위 분극시험 후 주사전자현미경을 이용하여 시편의 표면을 관찰하였고 0.9% NaCl, 5% HCl 용

액의 동전위 분극시험법 후 사용된 용액을 ICP (inductively coupled plasma emission spectroscopy: Jobin Yvon model JY 38plus) 분석 장비를 이용하여 Ti, Nb 각 이온의 농도(ppm)를 정량 분석하여 합금의 내식 특성을 평가하였다.

세포독성시험은 5 mm ϕ \times 5 mm의 시료를 SiC 연마지를 이용하여 습식 연마하고 소독용 알콜로 세척한 후 진공스팀 중에서 멸균소독(121°C, 15기압, 20 min)을 시행 하였다. 시편으로 제작된 CP Ti 및 Ti-Nb계 합금과 기존에 이용되는 생체용 합금인 STS 316L, Co-Cr계 합금 과의 세포독성을 비교하기 위하여 동일한 크기로 제작한 시편을 무혈청 배지에 담구어 37°C 배양기에서 15일 동안 보관하였다. 그 후 시편을 제거하고 금속이온이 용출된 추출용액에 세포를 배양시키는 간접 세포독성실험 (indirect method)을 수행하였다. 본 연구에서는 L929 섬유아세포(fibroblast)의 세포독성을 관찰하였다. 세포는 10% 우태아혈청(fetal bovine serum)을 포함하는 Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM)에 37°C, 5% CO₂ 가스조건의 배양기에서 배양하였고 세포가 80% 정도 증식되면 이를 단세포화하여 세포수를 측정하였다. 조직배양용 폴리스틸렌 접시 (96-well plate)의 각 well에 2 \times 10⁴ cell을 분주하고 각 추출 희석액을 100 μ l 씩 첨가하였다. 이렇게 추출액에 노출된 세포를 48시간 동안 37°C, 5% CO₂ 환경에서 배양하였다. 대조군으로는 신선한 배양액에 노출된 L929 세포를 이용하였다. 추출 희석액에 노출된 세포에 Methylthiazolotetrazolium(MTT; Sigma, USA)를 처리하여 2~4시간 배양한 후 570 nm 파장에서 흡광도를 측정하여 세포생존율을 측정하였다. 이는 세포의 mitochondria innermembrane의 succinate dehydrogenase의 활성도를 측정하여 생존 세포의 선택적인 활성을 보라빛의 침전형성을 통하여 분석하는 방법으로 세포 생존율을 측정하여 시편의 독성을 검사하였다. 48시간동안 배양된 세포에 MTT 용액을 처리하고 4시간 동안 동일한 환경에서 배양하였다. 이 과정은 빛을 차단하여 MTT 처리효과를 증대하고 배양 후 세포배양 상층액을 제거하여 Dimethyl sulfoxide(DMSO)를 첨가한 후 Glycine buffer를 첨가하여 570 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 세포의 생존율을 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 Ti합금에 Nb첨가량을 달리하여 아크 용해법에 의해 합금을 제조하고 균질화 열처리를 실시한 후, 압연을 50%로 진공 열간 압연한 시료의 미세조직을 관찰한 사진이다. 균질화 열처리 는 1050°C에서 24시간 동안 실시하였으며, 열간압연 후 β 변태점 300°C 이하에서 응력제거 열처리를 실시하였다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 Nb함량의 증가에 따라 백색의 상이 감소하고 있음을 알 수 있으며, 3wt.%Nb까지는 백색의 등축상이 나타나며, 20wt.% 이상이 되면서 침상으로 변화함을 알 수

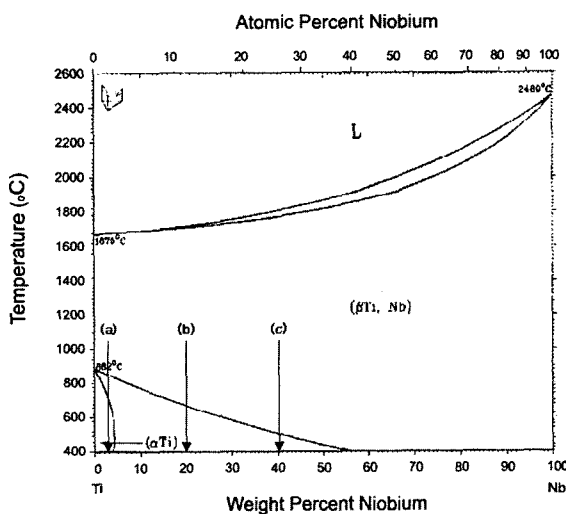


Fig. 1. Binary phase diagram of Ti-Nb system alloy.¹⁰⁾ (a) α type(Ti-3wt.%Nb), (b) $\alpha+\beta$ type(Ti-20wt.%Nb) and (c) β type(Ti-40wt.%Nb).

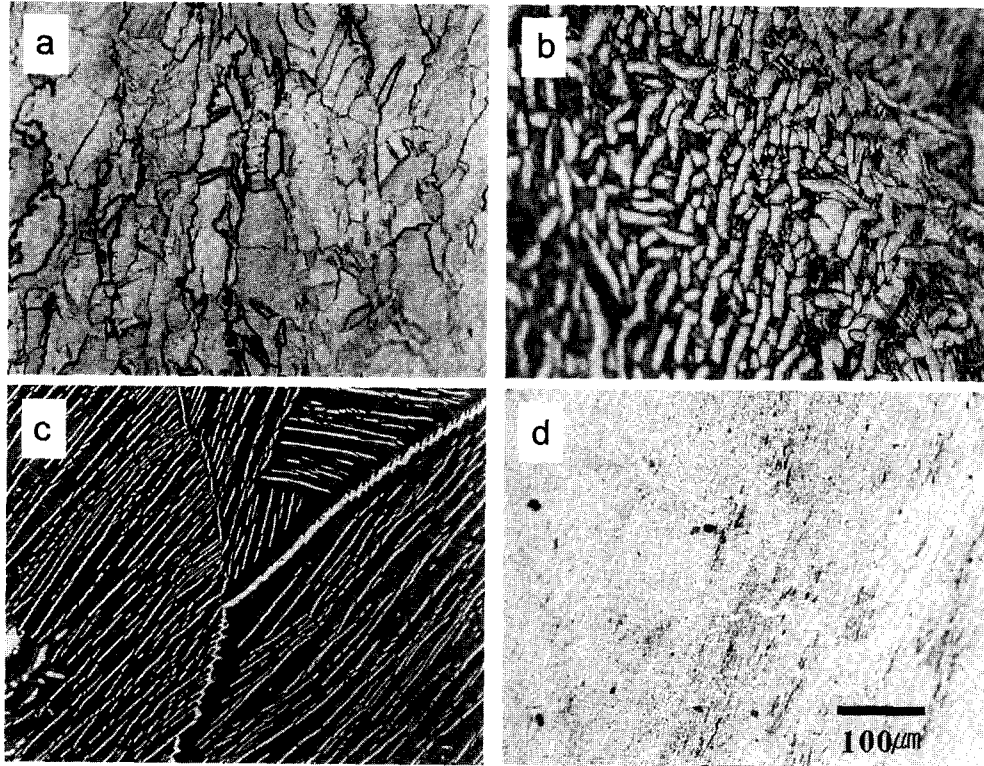


Fig. 2. Optical microstructures of Ti alloys. (a) CP Ti, (b) Ti-3Nb, (c) Ti-20Nb and (d) Ti-40Nb(wt.%).

있다. Fig. 2(a)는 CP Ti의 미세조직 사진으로 시편전체에 걸쳐 등축형의 α 상을 관찰할 수 있으며 (b)는 Nb을 3% 첨가한 경우로 등축상의 α 크기가 작아지면서 α 상 사이에 불규칙한 상이 석출되었음을 알 수 있다. 이와 같은 흑색상은 β 상으로 판단되며, 이러한 β 상은 Nb 함량이 증가한 (c)의 경우 더 많이 나타났음을 알 수 있고 40wt.%가 첨가된 (d)의 경우 조대한 β 단상으로 인해 상을 구분하기 어려우나 Nb-Ti계 합금의 미세조직과 유사한 형태를 보였다.¹¹⁾ Fig. 2에서 Nb 첨가량에 따라 침상의 α 상 조직이 나타나고, β 상의 부피분율도 상대적으로 증가함을 알 수 있는데, 이는 Nb이 Ti합금에 β 안정화 원소로 작용하여 β 로부터 α 의 석출온도를 낮추어서 β 상의 잔류를 용이하게 한 결과로 생각된다. 일반적으로 Ti 합금의 미세조직 상에서 침상인 α 상의 크기와 폭, α 상과 β 상의 부피분율은 재료의 강도와 연성 등 물성에 영향을 미치며, 침상 α 상의 크기가 작을수록 인장강도와 피로특성이 우수하고, β 상이 α 결정립 계면에서 void의 형성에 의한 파괴를 저지하여 creep 강도, 파괴인성을 향상시키는 것으로 알려져 있다.^{12,13)}

Fig. 3은 열간압연된 시료를 응력제거 열처리한 후 시편에 형성된 상 분석을 위하여 X-선 회절 분석한 결과이다. 미세조직 분석에서와 같이 CP Ti의 경우에는 α 상의 Ti만 나타났으나 Nb함량의 증가에 따라 β 상이 증가하고 있으며 Ti-40Nb계 합금의 경우에는 대부분 β 상만 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 Nb첨가에 따른 β 상의 증가는 Nb이 Ti의 β 상 안정화 원소이기 때문이며 상기

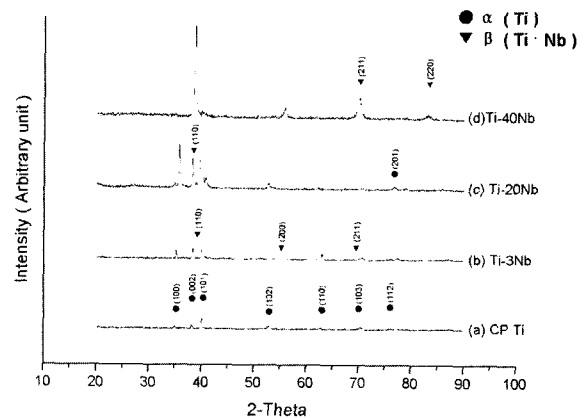


Fig. 3. XRD pattern of Ti alloys with Nb contents.

의 결과는 미세조직과 일치하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 4는 광학현미경으로 관찰한 Fig. 2를 주사전자현미경으로 관찰한 사진이며 Table 1은 EDS 분석 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 전반적으로 합금에 첨가한 Nb 함량이 높을수록 광학현미경 상에서 나타난 β 상의 증가를 알 수 있다. Ti-20Nb계 합금의 경우, 침상의 α 상 (p.7, 8)에서는 Ti 함량이 89.54~90.18%를 나타냈으나 β 상 (p.9, 10)에서는 76.82~77.16%로 침상의 α 상은 Ti-rich를 보였으며, Nb 함량은 침상 α 상에서는 9.82~10.46%를 나타냈으나 β 상(p.9, 10)에서는 22.84~23.18%로 β 상은 Nb-rich로 이루어진 것을 확인할 수 있었다. Ti-40Nb계 합금의 경우에는 기지 내(p.11, 12)에 다량의

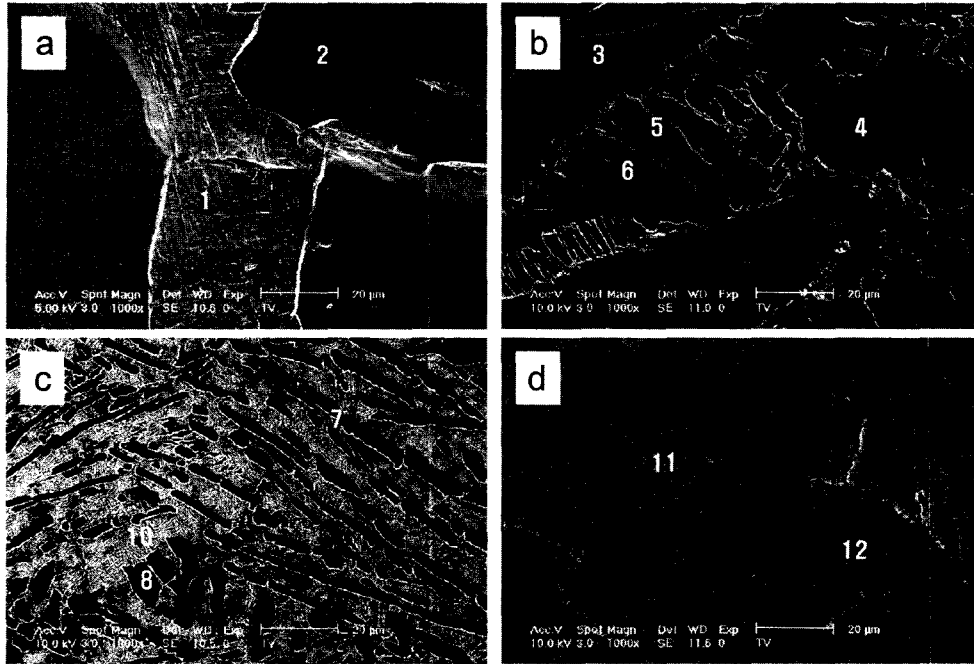


Fig. 4. SEM micrographs of Ti alloys. (a) CP Ti, (b) Ti-3Nb, (c) Ti-20Nb and (d) Ti-40Nb(wt.%).

Table 1. The results of EDS analysis on the area shown in Fig. 4.

Point	Ti(wt.%)	Nb(wt.%)	Phase	Alloy
1	100	0	α	CP Ti
2	100	0	α	CP Ti
3	98.12	1.88	α	Ti-3wt.%Nb
4	97.81	2.19	α	
5	92.36	7.64	β	Ti-3wt.%Nb
6	91.54	8.46	β	
7	90.18	9.82	α	Ti-20wt.%Nb
8	89.54	10.46	α	
9	77.16	22.84	β	Ti-20wt.%Nb
10	76.82	23.18	β	
11	61.26	38.74	β	Ti-40wt.%Nb
12	62.18	37.82	β	

Nb이 광범위하게 함유되어 있는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5는 CP Ti 및 Ti-Nb계 합금을 1050°C에서 24시간 동안 균질화 열처리를 실시한 후, 압연율 50%로 진공 열간 압연한 시료의 부식특성을 평가하기 위하여 체액과 유사한 0.9% NaCl용액에서 동전위 분극시험한 양극분극곡선이다. 그림에서 나타난 바와 같이 CP Ti 및 Ti-Nb계 합금은 2800 mV 이상의 전위에서도 부동태 파괴가 나타나지 않아 안정된 부동태 피막이 형성된 것으로 나타났는데 이로부터 부동태 피막의 형성영역이 수천 mV 이상까지 계속되고 있음을 알 수 있다. Ti는 공기 중에 노출되면 수초 후부터 산화막이 형성되기 시작하여 수분 후에 50~100Å 두께로 형성되며, 시료표면에 형성된 TiO₂ 안정된 산화막이 안정적인 부동태를 형성하는

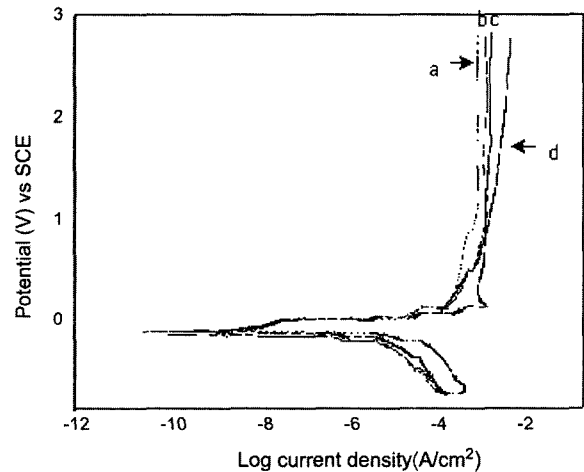


Fig. 5. Potentiodynamic polarization curves of Ti alloys in 0.9% NaCl. (a) CP Ti, (b) Ti-3Nb, (c) Ti-20Nb and (d) Ti-40Nb(wt.%).

것으로 알려져 있다.^{14,15)} Ti에 Nb을 첨가한 합금의 경우에도 CP Ti에 버금가는 내식특성을 보이거나 Nb 첨가량에 따라서는 미미하지만 우수한 내식성을 보이는 것으로 나타났다. 전류밀도는 Ti-20Nb계 합금이 가장 낮았고 그 차이는 크지 않으며 특히 Ti-40Nb계 합금의 경우 활성화 영역에서 전류밀도가 증가하였으며 0.9% NaCl 용액에서 시편 모두의 부식전위가 유사한 값을 나타내었다.

Fig. 6은 0.9% NaCl용액에서 동전위 분극시험을 한 후 시편의 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 것으로 부식은 각상의 경계에서 발생되고 입계가 약간 침식되었음을 보였으나 Fig. 6(d)의 경우 일부의 입계가 심하게 침식

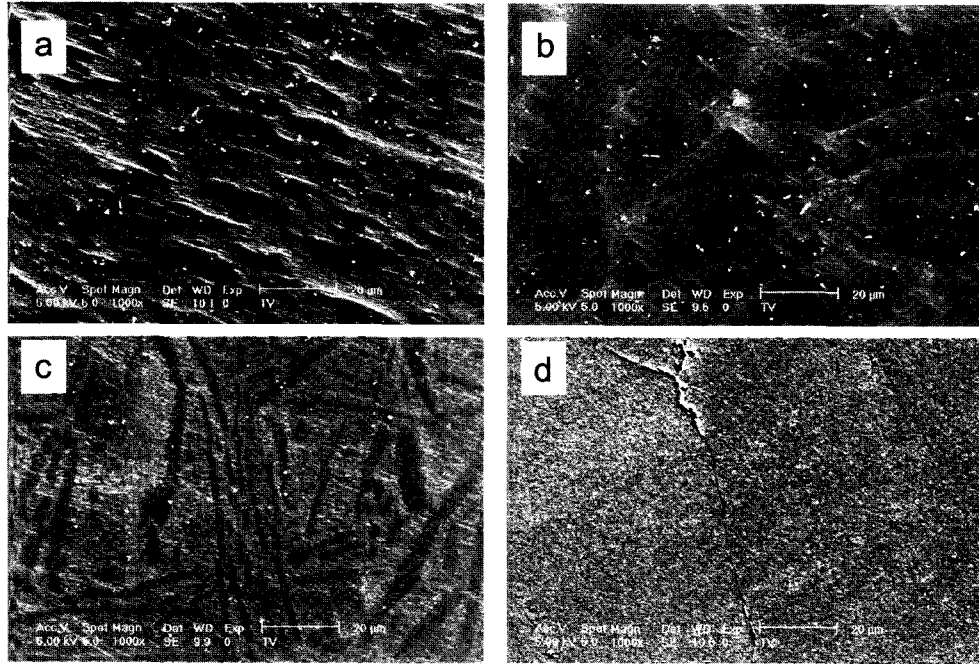


Fig. 6. SEM micrographs of corroded surface of Ti alloys in 0.9%NaCl. (a) CP Ti, (b) Ti-3Nb, (c) Ti-20Nb and (d) Ti-40Nb(wt.%).

되어 있는데 이는 Fig. 5(d)에서 Ti-40Nb계 합금의 경우 활성태 영역에서 높은 전류밀도를 보였던 이유를 밝혀주는 부분이다. 전반적으로 Ti 합금은 0.9% NaCl용액 내에서 우수한 내식성을 보여주고 있다.

Fig. 7은 5% HCl용액에서 재료의 부식경향을 평가하기 위한 양극분극곡선으로 대부분의 Ti-Nb계 합금의 부식전위는 $-250 \sim -300$ mV 이내며, 0.9% NaCl용액에서 보다 낮은 전류밀도를 나타내어 내식성이 향상됨을 알 수 있으며, Ti에 Nb을 첨가하면 HCl 용액 내에서 내식성이 증가한다고 보고한 Yu¹⁶⁾ 등의 연구 결과와 일치하는 경향이다.

Fig. 8은 5% HCl용액에서 동전위 분극시험한 시편의 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진으로 CP Ti의 경우 0.9% NaCl용액에서보다 표면의 침식이 크게 일어나지 않아 5% HCl용액에 대한 내식성이 우수한 것을 확인할 수 있었고 Ti-3Nb, Ti-20Nb계 합금의 경우 부동태 피막이 안정한 것으로 생각되며, Ti-40Nb의 β 형 합금의 경우도 0.9% NaCl에서 시험한 경우에 비하여 입계가 침식된 양상을 전혀 보이지 않았다. CP Ti 및 Ti-Nb계 합금을 5% HCl용액에서 동전위 분극시험 후 시험편으로부터 용액 속으로 용출되어 나온 이온을 ICP장비를 이용하여 분석한 결과 Table 2에서 나타난 것처럼 합금 조성별 Ti 이온의 용출량은 그 차이가 미미하고 Nb 이온의 용출은 확인할 수 없었으며, 이를 통해 Ti-Nb계 합금의 표면 생성물에 Nb에 비해 Ti가 두껍게 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과에서 Ti에 Nb을 첨가할 경우 5% HCl용액에서 내식성이 개선됨을 알 수 있으며, 0.9% NaCl용액에 대하여는 CP Ti과 유사하나 Nb이 40% 정도 첨가

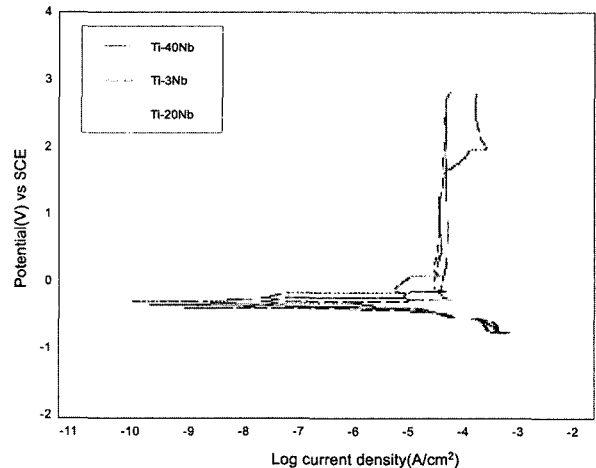


Fig. 7. Potentiodynamic polarization curves of Ti alloys in 5% HCl. (a) CP Ti, (b) Ti-3Nb, (c) Ti-20Nb and (d) Ti-40Nb(wt.%).

Table 2. Comparison of released rate of Ti-Nb alloys in 5% HCl after potentiodynamic polarization.

Composition	Ion(ppm)	
	Ti	Nb
Ti	0.0256	-
Ti-3Nb	0.0228	-
Ti-20Nb	0.0141	-
Ti-40Nb	0.0122	-

되면 오히려 저하됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 CP Ti과 Ti-20Nb합금을 1050°C에서 24시간 동안 균질화 열처리를 실시한 후, 압연을 50%로 진공열

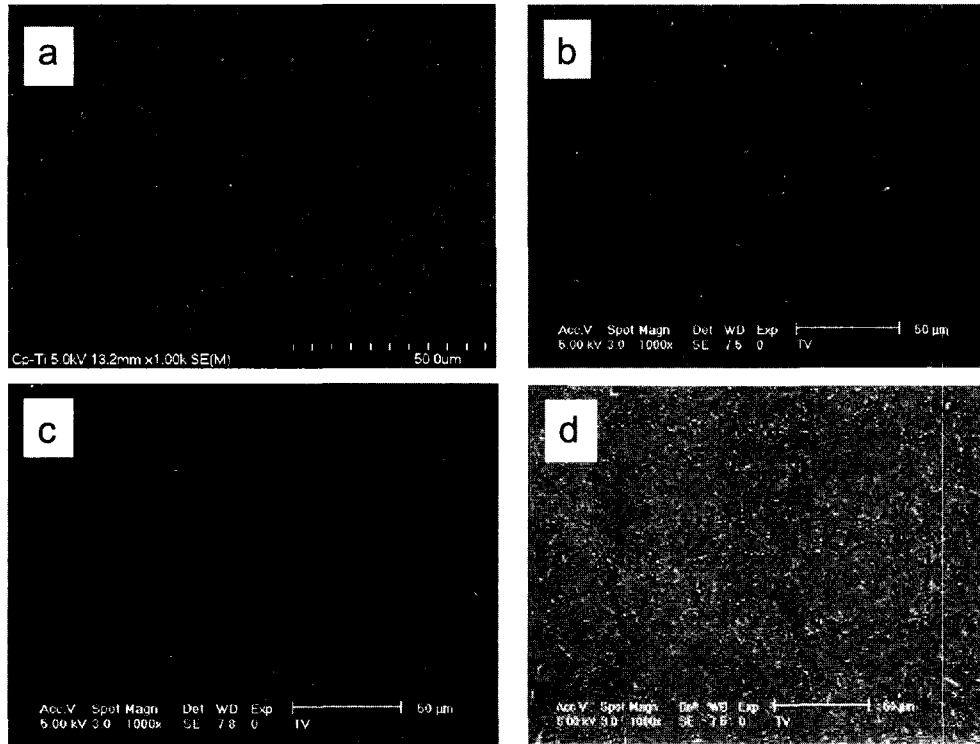


Fig. 8. SEM micrographs of corroded surface of Ti alloys in 5% HCl. (a) CP Ti, (b) Ti-3Nb, (c) Ti-20Nb and (d) Ti-40Nb(wt.).

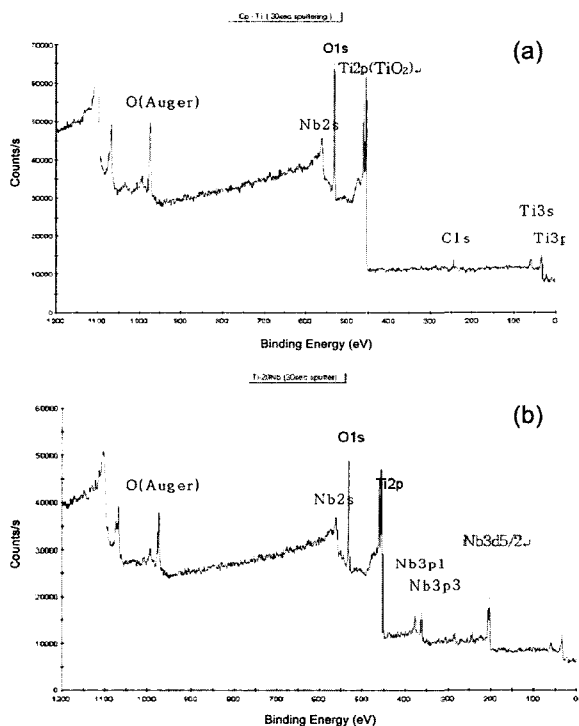


Fig. 9. XPS results of (a) CP Ti and (b) Ti-20Nb alloy.

간 압연한 후의 표면상태 분석을 위해 XPS분석한 결과로 대기 중에서의 오염물질 제거를 위해 30초 동안 아르곤을 스퍼터링 한 후 분석하였다. Fig. 9(a)에서 보면 Ti2p값은 458.8 eV의 범위에 있어 TiO₂의 산화물이 형성

되었음을 알 수 있다. Fig. 9(b)는 Ti-20Nb합금의 XPS 분석결과로 일반적으로 Nb은 금속상태로 존재할 경우 결합에너지는 Nb3d(202.4 eV)이며, 산화물인 경우 NbO (202.8 eV), Nb₂O₅(207.5 eV)이다. 스퍼터링 후 산소 피크는 감소하고 Ti 피크는 증가하였으며, Nb₂O₅의 에너지인 207.5피크가 나오고 있음을 알 수 있다. 이러한 산화물 외에도 문헌에^{17,18)} 의하면 생체용 재료는 화학적 조성, 표면에너지, 표면고도(topography), 표면화학처리 등은 생체적합성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

Fig. 10은 생체에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 세포배양액에 시편에서 추출한 액을 노출하여 48시간 배양시킨 후 위상차 현미경(inverted microscope)을 이용하여 세포의 형태학적 변화를 관찰한 것이다. Figure에서 (a)는 control의 경우로 세포자체만을 배양한 것이고, (b)는 임플란트로 널리 이용되고 있는 CP Ti이며, c), d), e)는 본 연구의 합금조성이다. 또 (f)는 뼈의 플레이트 등 생체재료로 이용되고 있는 316 L합금이다. 그림에서 시편 추출액을 처리하지 않은 대조군의 경우 세포배양용 폴리스티렌 접시는 고도로 수산화된 표면구조와 높은 표면에너지를 가져 적절한 세포 성장을 가능하게 하는 특징이 있어 활성화되지 않은 구형의 세포양상을 나타내었으며, CP Ti의 경우 세포의 형태 및 생존에 의미 있는 차이를 나타내지 않았으며 다소 활성화된 마름모 및 다각형의 양상을 나타내었다. Ti-Nb계 합금 추출액 처리군에서도 세포는 활성화 된 다각형의 세포독성을 나타내었으나 대조군과 거의 유사한 세포형태를 나타내었다. 현재 생체재료로 많이 사용되는 316 L의 경우 세포가 추출액

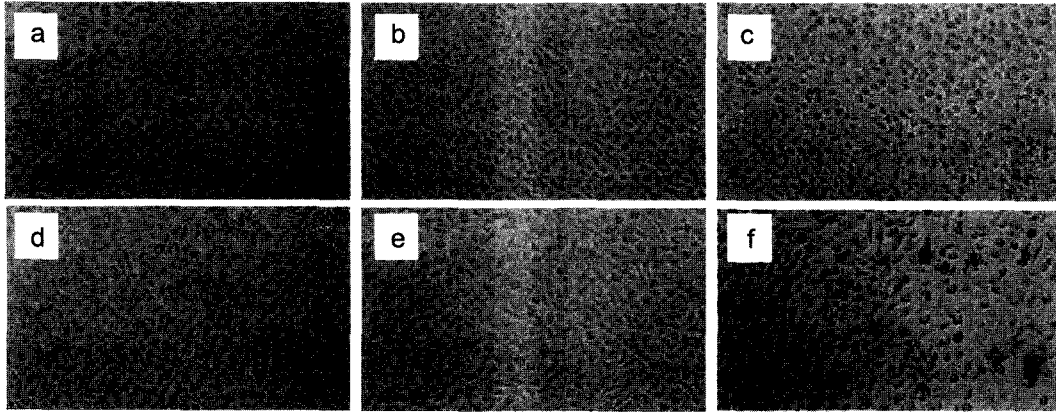


Fig. 10. Morphological cell change as a function of the specimen extractions. (a) Control, (b) CP Ti, (c) Ti-3Nb, (d) Ti-20Nb, (e) Ti-40Nb, (f) 316L

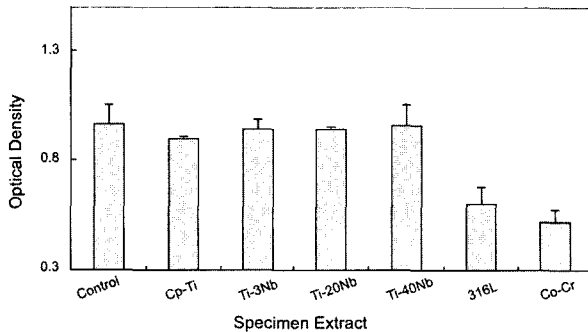


Fig. 11. Cytotoxicity by MTT assay.

에 존재하는 미세입자에 대한 거부반응을 하고 있는 것과 같은 양상을 나타내었으며 많은 세포가 괴사가 일어나고 있음을 확인할 수 있었다. 이 결과로 본 연구에서 조사된 Ti-Nb계 합금의 경우 기존의 생체용 금속재료에 비하여 비교적 우수한 세포안정성을 가지고 있다고 생각된다.

Fig. 11은 시편 추출액을 처리한 세포의 생존율은 MTT를 처리하여 세포의 Mitochondria Innermembrane에 존재하는 Succinate dehydrogenase의 활성도를 측정하여 세포의 생존율을 비교한 결과이다. 신선한 배지에서 배양한 대조군을 Optical density 측정결과 96%의 세포 생존율을 나타내었으며, CP Ti은 89%, Ti-3Nb계 합금은 93%, Ti-20Nb계 합금은 94%, Ti-40Nb계 합금은 95%의 생존율로 거의 대조군과 같은 우수한 생존율을 보였다. 그러나 316 L의 경우 60%의 생존율을 보여 형태학적 소견과 동일한 결과로 48시간의 자극에서도 세포의 생존율에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로 Ti-Nb계 합금이 기존 생체재료로 사용되는 다양한 생체용 금속재료보다 세포안정성이 높음을 알 수 있으며, Ti-Nb계 합금을 생체 내에 이식할 경우 골 유착 형성에 유리하리라 생각되며 금속에 대한 결합조직의 부착 및 증식 가능성이 있는 것으로 생각된다.

4. 결 론

1) CP Ti에 Nb 함량이 증가하면 등축상에서 칩상으로 미세조직의 변화가 나타났으며, β 상도 함께 증가하였다.

2) Ti-Nb계 합금의 부식특성은 0.9%NaCl 용액 및 5%HCl 용액에서 각각 기존 생체재료로 사용되는 CP Ti와 유사한 경향을 나타냈다.

3) CP Ti에 Nb을 첨가하여 Ti-Nb계 합금의 세포독성을 실험 결과, Nb이 첨가된 합금의 경우 기존에 사용 중인 생체용 금속재료에 비하여 비교적 우수한 세포안정성을 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 두뇌한국 21사업과 한국산업기술 재단에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

1. Y. Okazaki, K. Kyo, Y. Ito and T. Tateishi, J. Japan Inst. Metals **59**(10), 1061 (1995).
2. T. Ahmed M. Long, J. Silvestri, C. Ruiz and H. J. Rack, Titanium 95 science and technology, **2**, 1760 (1995).
3. S. G. Steinemann, Evaluation of Biomaterials, John Wiley & Sons Ltd., 1 (1980).
4. J. A. Davidson, A. K. Mishra and R. A. Poggie, Biomed. Mat. Eng., **4**, 231 (1994).
5. S. Yumoto et al., International Journal of PIXE, World scientific Publishing Company, **2**(4) 493 (1992).
6. Edward J. Cheal, Myron Spector, and Wilson C. Hayes, Clin. Orthop. Relat. Res., **10**, 405 (1992).
7. P. J. Prendergast and D. Taylor, J. Biomed Eng. **12**, 379 (1990).
8. Rik Huiskes, Harrie Weinans and Bert Van Rietbergen, Clin Orthop Relat Res., **274**, 124 (1992).
9. Charles A. Engh and J. Dennis Bobyn, Clin Orthop Relat Res. **231**, 7 (1988).

10. Joanne L. Murraray, Lawrence H. Bennett, Hugh Backer, Binary Alloy Phase Diagrams, American society for metals, (1986).
11. S. M. Allameh, R. W. Hayes, M. Li, E. A. Loria, D. J. Srolovitz, W. O. Soboyejo, Materials science and engineering, **A328**, 122 (2002).
12. M. A. Daeubler, D. Helm and G. Lutjering, Titanium '95: Science and Technology, 709 (1995).
13. H. J. Cho and J. H. Lee, K. J., Material Research, **4**, 626 (1994).
14. Kasemo B, Lausmaa J. Biomaterial and implant surfaces : A surface science approach. Int J Oral Maxillofacial Implants, **3**, 247-259 (1988).
15. McAlarney ME, Oshiro MA, McAlarney CV. Effect of titanium dioxide passive film crystal structure, thickness, and crystallinity on C# adsorption. Int J Oral Maxillofac Implants, **11**, 73-80 (1996).
16. S. Y. Yu and J. R. Scully, Corrosion, **53**(12), 965 (1997).
17. Toshikazu Akahori, Mitsuo Niinomi, Materials Science and Engineering **A243**, 237 (1998).
18. Jukka Lausmaa, J. of electron spectroscopy, **81**, 343 (1996).