



## 질소이온주입에 따른 생체안전성 티타늄 임플란트의 마모특성

### Wear Properties of Biocompatible Ti Implant due to Nitrogen Ion Implantation

최종운\* · 손선희\* · 변응선\*\* · 정용수\*\*

J.W. Choi · S.H. Son · E.S. Byon · Y.S. Jeong

(1999년 9월 10일 접수, 1999년 11월 27일 채택)

#### ABSTRACT

In this study, plasma source ion implantation was used to improve the wear properties of biocompatible titanium implant.

In order to observe the effect of ion energy and dose on wear property of titanium implant, pin-on-disk type wear tests in Hank's solution were carried out. The friction coefficient of ion implanted specimens were increased from 0.47 to 0.65 under high energy and ion dose conditions. As increasing ion energy and ion dose, the amount of wear was reduced.

#### 1. 서 론

생체재료는 대부분의 경우 인체기능을 대행하며 장기간 또는 반영구적으로 체내에 설치되므로 재료의 중요성이 매우 높을 뿐만 아니라 환경에 대한 안정성도 매우 중요하다. 따라서 현재 치골매식용 임플란트 재료로 조직 적합성이 우수한 재료로 알려진 티타늄 및 그 합금이 널리 사용되고 있다. 그러나 티타늄 소재는 장기간 매식시 치골조직과 이물반응을 일으켜 직

접결합이 형성되지 않는 것으로 보고되어 있으며 특히 이 소재는 내마모성 및 전단강도가 낮아 임플란트 표면으로부터 유리된 금속이온이나 마모된 입자들이 주위의 조직을 자극시키는 문제가 있는 것으로 보고되어 있다<sup>1-4)</sup>.

티타늄 소재의 골결합력을 높이기 위하여 인회석(apatite)과 같은 인산칼슘 화합물을 코팅하여 사용하고 있으나 코팅층의 분리, 코팅시 열분해에 의한 조성의 변화, 소독의 어려움 등 여러 가지 문제점들을 가지고 있다. 이러한 문제점

\* 서울산업대학교 재료공학과

\*\* 한국기계연구원 표면기술부

을 해결하기 위해 최근에는 다양한 방법으로 TiN, ZrN 등과 같은 생체안전성 질화물을 티타늄 소재 임플란트 표면에 코팅하여 티타늄 소재의 이물 반응과 물리적인 취약함을 해결하려는 연구가 시도되고 있다<sup>5,6)</sup>.

코팅 방법으로 주로 사용하고 있는 물리적 증착법은 모재와 코팅사이의 계면이 물리적 결합을 하고 있으므로 계면박리 또는 계면파괴의 가능성이 항상 존재하게 된다. 그러나 이온을 수십~수백 kV로 가속시켜 재료의 표면에 주입시키는 이온주입 기술은 모재 자체의 특성을 변화시키지 않고 표면특성만을 향상시킬 수 있는 점에 있어서는 물리적 증착법과 유사하나 모재와의 접착력에 문제가 없고, 주입량이나 에너지를 조절하여 최적의 원소 분포를 얻기가 용이하고, 상온공정이므로 온도상승에 따른 재료의 열화를 막을 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있어 최근에 이를 이용한 소재의 내마모성, 내식성을 향상시키려는 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>7,8)</sup>.

본 연구에서는 현재 주로 이용되고 있는 이온주입장치와는 원리적으로 다른 첨단 이온주입장치인 PSII(plasma source ion implanter)<sup>9,10)</sup>를 이용하여 질소이온을 Ti임플란트의 소재 표면에 주입함으로써 티타늄 소재의 생체내에서의 이물 반응과 물리적인 취약함을 개선하는데 그 목적을 두고 연구를 수행하였다.

이온-고체 상호작용 Monte Carlo 시뮬레이션 code인 TAMIX를 이용하여 시뮬레이션을 행한 결과와 실제 이온주입 결과를 비교하였으며, 질소이온의 주입이 생체안전성 티타늄 임플란트의 내마모성에 미치는 영향을 고찰하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시험편

상거래 되고 있는 순수한 Ti소재의 등급을 화학적 조성에 따라 ASTM에 의해 규정한 것이 Table 1이고, Table 1중의 각 등급별 Ti소재의 기계적 성질을 나타내고 있는 것이 Table 2이다.

본 연구에서는 Table 1중의 일등급(grade 1) Ti소재를 사용하여 실험을 행하였다.

시험편은 임플란트의 기계 가공 상태를 모사하기 위해 #1200 사포로 표면을 연마한 후 이온주입이 끝난 다음 마모특성 평가를 위해 25×25×1mm 크기로 절단하여 사용하였다.

Table 1 Chemical composition of Ti (wt%)

Element	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
nitrogen, max	0.03	0.03	0.05	0.05
carbon, max	0.10	0.10	0.10	0.10
hydrogen, max	0.015	0.015	0.015	0.015
iron, max	0.20	0.30	0.30	0.50
oxygen, max	0.18	0.25	0.35	0.40
residuals, max				
each	0.1	0.1	0.1	0.1
total	0.4	0.4	0.4	0.4
titanium	remainder	remainder	remainder	remainder

Table 2 Mechanical properties of Ti

Alloy	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Elongation, %	Reduction in area, %
grade 1	331	241	30	55
grade 2	434	346	28	50
grade 3	517	448	25	45
grade 4	662	586	20	40

### 2.2 이온주입

본 연구에 사용된 플라즈마 이온주입(PSII) 장치는 Fig. 1과 같다. 시험편을 장착한 후에 진공 챔버를  $1 \times 10^{-6}$  torr까지 배기시키고 가스유량 조절기를 이용하여 Ar gas를  $5 \times 10^{-3}$  torr로 공급하였다. 이후 200W의 radio frequency power로 Ar 플라즈마를 발생시킨 후 시료대에 -2.0 kV DC를 약 10분동안 인가하여 산화층을 비롯한 시험편 표면의 오염 물질을 제거한 후 진공챔버를 다시  $1 \times 10^{-6}$  torr로 배기시켰다.

이온주입을 위하여 질소가스를  $5 \times 10^{-3}$  torr로 공급하였으며 플라즈마 발생을 위해 200W의 radio frequency power가 안테나에 투입되었다. 이온주입시 전압은 -15, -25, -35 kV, 고압펄스폭은 20  $\mu$ s, 주파수는 100~1 kHz로 행하였다. 이 때 이온주입량은  $5 \times 10^{16}$ ,  $1 \times 10^{17}$ ,  $5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>이 되도록 조절하였다.

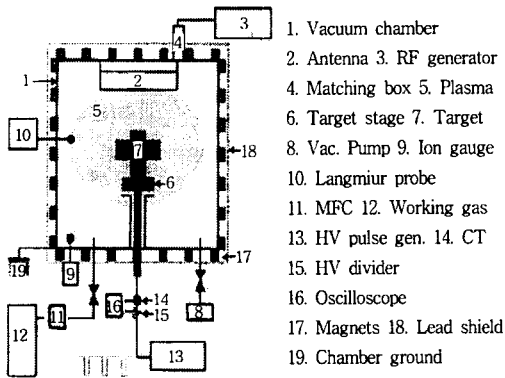


Fig. 1 Schematic diagram of PSII(plasma source ion implanter)

또한 이온-고체 상호작용 Monte Carlo 시뮬레이션 code인 TAMIX를 이용하여 위의 이온주입 조건에 대해 사전 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 실험 결과와 비교하였다.

이온-고체 상호작용 시뮬레이션 수행 code인 TAMIX는 parallel process가 가능한 cray super computer-용으로 개발된 vectorized Monte Carlo program으로 종래의 history-based algorithm 대신에 event-based algorithm을 사용하였으며 variance reduction 방법을 사용하여 계산시간을 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다.

주입된 질소이온은  $N^+$ ,  $N_2^+$ 이고, 이온이 주입되는 깊이가 주입에너지에 비례하므로 이러한 혼합이온의 사용은 시뮬레이션의 결과 보다 주입이온의 분포를 넓게 하여 이온주입층의 두께를 증가시킨다. 이온주입시 시편의 온도 상승을 억제하기 위하여 기판전류밀도를 낮게 유지하였으며, 이 때 주입시간이 길어지는 것을 방지하기 위해 주입전원의 주파수를 높게 설정하였다.

이온주입 후 주입깊이 및 표면조직의 변화에 대한 정보를 알기위해 XRD(Rigaku Co.) 및 AES(VS Scio. Co.)를 사용하여 구조분석을 행하였다.

### 2.3 마모특성시험

마모시험은 pin on disk type 마모시험기를 이용하여 37°C의 유사체액인 Hank's 용액중에

서 수행하였으며 ball은 3mm 직경의 루비 ball을 disk는 각 시험조건에서 이온주입된  $20 \times 20 \times 1mm$  크기의 Ti plate를 사용하였다. 이 때 시험하중은 각각 10, 30, 50g을 가하며 회전 선속도는 초당 28mm로 유지하였고 마모실험이 진행되는 동안 발생하는 마찰력에 의한 마찰계수 변화는 data acquisition system을 통하여 컴퓨터로 연속하여 기록되도록 하였으며 시험온도는 halogen lamp와 온도조절기를 이용하여  $37 \pm 1^\circ C$  범위 내에서 유지되도록 조절하였다.

마모특성은 일정 마찰거리(약 35m)를 마찰한 후 마모흔으로부터 마모특성을 비교하였다. plate와 ball과의 상대적 마찰을 계속하게 되면 접촉하는 plate 표면에서는 ball에 의해 접촉된 소위 마모흔(wear track)이 남게 된다. 이와 같은 마모흔은 실험시간 및 시험하중이 증가함에 따라 넓이가 넓어지므로 본 실험에서는 마모된 정도의 비교를 위해 마모흔의 넓이를 평균폭으로 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 이온주입층의 조성 및 구조

먼저 다양한 이온주입의 조건에 따른 질소이온의 농도분포와 주입깊이를 예측하고 최적의 이온주입의 조건을 결정하기 위하여 dynamic Monte Carlo 프로그램인 TAMIX(transport and mixing from ion irradiation)를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 박막은 Ti 모재 단일층으로 구성되어 있으며 밀도는  $4.5g/cm^3$ 이며 주입되는 입사이온은 각각 30%  $N^+$ , 70%  $N_2^+$  이온이  $90^\circ$ 로 입사한다고 가정하고 C-dynamic mode하에서 계산을 수행하였다. 계산은 먼저 입사이온의 에너지를 5~50 kV로 순차적으로 변화시키며 질소이온의 주입량이  $1 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>인 범위에서 주입된 질소이온의 농도분포율을 계산하였으며 주입된 이온이 모재 또는 박막과 화합물을 형성하지 않는 경우만을 고려하였다.

Fig. 2는 TAMIX 시뮬레이션 계산결과로서 이온주입량을  $1 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>으로 일정하게 유지하였을 때 각각 이온주입 에너지에서의 주입

된 질소원자 농도분포를 계산한 결과이다.

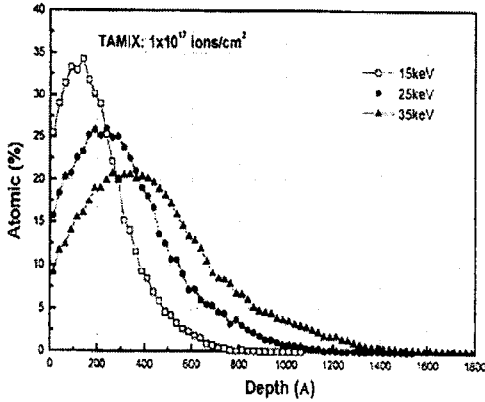


Fig. 2 Result of TAMIX simulation for PSII-N<sup>+</sup> onto Ti at  $1 \times 10^{17}$  dose and different ion energies

이온주입 에너지가 15 kV일 때 질소이온 주입분포는 약 120 Å 깊이에서 형성되나 에너지가 25 kV로 증가하면 220 Å 깊이로 증가하며 35 kV에서는 약 380 Å 깊이까지 주입됨을 예상할 수 있다. 이 때 질소이온의 입사각도가 수직이며 질소이온의 비가 30% N<sup>+</sup>, 70% N<sub>2</sub><sup>+</sup>라고 가정하였기 때문에 실제와는 많은 차이를 가져올 수 있음을 유의하여야 한다. 이 계산에서 질소이온의 최대 주입량은 15 kV 에너지로 주입시 약 35%에서 35 kV일 때 약 20%로 주입깊이가 증가함에 따라 주입량이 급속히 감소하였으나 주입된 전체면적은 이에 무관하게 일정함을 알 수 있다.

위와 같은 시뮬레이션 결과를 토대로 100 kV 급 negative high voltage pulse generator가 장착된 PSII 장치를 이용하여 상온에서 이온주입을 행한 후 AES depth profile 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다.

전체적으로 TAMIX 계산결과와 다소 상이한 주입양상을 보이고 있으나 이는 계산과정에서는 가정한 N<sup>+</sup>, N<sub>2</sub><sup>+</sup>의 비가 실제 주입과정에서는 달라질 수 있으며 입사각도도 다소 범위를 가지고 입사할 것이기 때문이다.

이외에도 실제의 기계가공과 유사한 표면조건을 만들기 위하여 시편의 표면을 #1200 사포

로 연마하였기 때문에 이와 같이 거친표면은 AES 분석시 많은 Auger원자의 산란을 초래하여 분석결과에 영향을 줄 수 있다. 또한 표면에 존재하는 산화막의 산소농도 때문에 Fig. 3과 같이 표면의 질소 농도가 상대적으로 적게 나타난다. 따라서 이러한 여러 가지 이유로 인해 TAMIX시뮬레이션 계산결과와 AES depth profile 분석결과와의 주입이온의 농도분포 및 주입깊이가 다소 차이를 가져오므로 직접적인 비교는 불가능하며, 그 경향만을 비교할 수 있다. Fig. 3에서 질소이온의 주입깊이는 주입에너지가 증가하면 순차적으로 증가하며 주입량도 증가함을 알 수 있다.

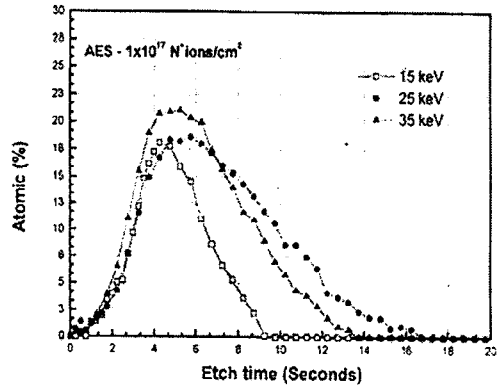


Fig. 3 AES depth profile of Ti alloy implanted with various ion energies at  $1 \times 10^{17}$  nitrogen dose

마찬가지로 이온주입 에너지를 25 kV로 일정하게 유지하였을 때 이온주입량에 따른 TAMIX 계산결과와 시편의 AES depth profile 분석결과를 각각 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다.

일정 이온주입 에너지(25 kV)에서의 질소이온 주입깊이는 이온주입량이  $5 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>일 경우 약 220 Å 범위였으나 주입량이  $5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>으로 증가하면 약 150 Å로 다소 감소하였다. 또한 질소원자의 량도 주입량이 증가할수록 모재내에 약 15%에서 약 65%까지 변화를 예상할 수 있다.

AES 분석결과인 Fig. 5는 Fig. 3과 마찬가지로 TAMIX 계산결과는 이온주입량이 15~65%의 범위를 가지는 반면 AES 결과에서는 15~35

% 범위를 가지고 있으나 전반적으로는 TAMIX 계산결과와 경향은 잘 일치하고 있다.

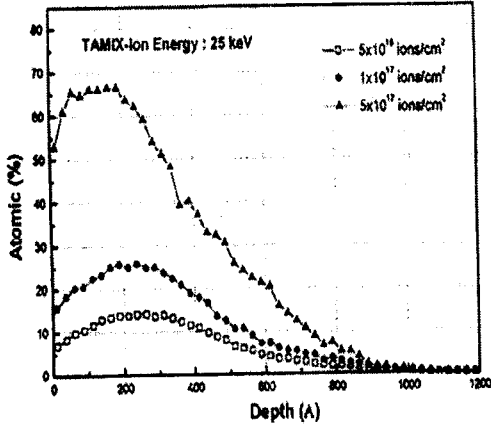


Fig. 4 Result of TAMIX simulation for PSII-N<sup>+</sup> onto Ti at 25 keV of energy and different doses

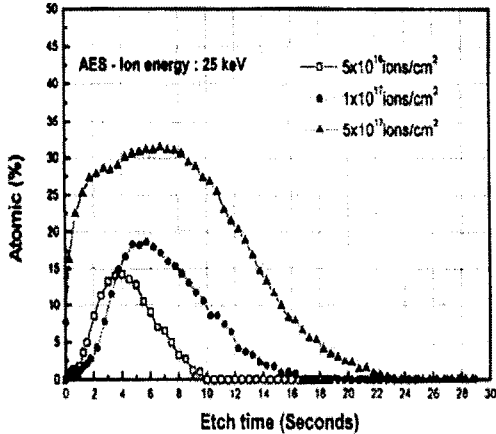


Fig. 5 AES depth profile of Ti alloy implanted with various nitrogen doses at 25 keV of ion energy

Fig. 6은 25 keV의 이온에너지로 주입한 시편의 XRD분석결과로서 모든 이온주입량에서 TiN 피크를 관찰할 수 없었다. 따라서 본 실험 범위에서는 최대 이온주입량에서도 질화물을 형성되지 않았음을 알 수 있다.

Fig. 6에서 TiO<sub>2</sub> 피크를 관찰할 수 있는데 이는 이온주입 시 형성, 성장한 것이라기 보다는 시편이 대기중에 노출되어 있는 동안 흡착된 산

소에 기인한 것으로 사료된다. 이러한 분석결과로부터 질소이온의 주입에 의해 모든 이온주입량에서 화학조성의 변화를 보이지 않으며 물리적 변화만을 가져올 것으로 예상된다.

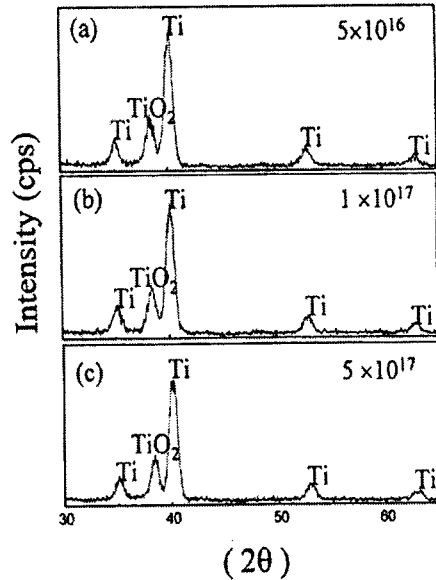


Fig. 6 XRD patterns of Ti alloy implanted with various nitrogen doses ; (a)  $5 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>2</sup>, (b)  $1 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>, (c)  $5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>

일반적으로 이온주입에 의해 기관의 표면에는 새로운 준안정상이 형성되고 이들이 표면 성질에 영향을 주게 된다.

$10^{17} \sim 10^{18}$  atoms/cm<sup>2</sup> 정도의 많은 양을 주입할 경우 표면 조성과 화학결합을 변화시켜 화합물층을 형성시킨다. 많은 양의 이온을 주입할 경우 주입원소가 초기에는 가우스형태로 분포하다가 기관원자와 화학양론적인 비를 이루면 화합물이 형성되어 성장하고 그 이상의 이온이 주입되면 여분의 주입 원소는 표면으로 또는 기관안으로 이동하여 구조 변화를 일으킨다. 그러나 낮은 주입량에서는 입사된 고에너지의 이온이 소재 원자와 탄성충돌을 일으키며 에너지를 잃는 과정에서 일정 각도로 산란되며 동시에 기관 원자는 자신의 격자위치에서 이탈하게 된다. 충돌로 인해 처음에 이탈된 원자는 다른 격자원자들을 이탈시킬 수 있고 이러한 연쇄적인 충돌과

정 의해 모재표면층의 비정질화 결정구조 변화가 야기되게 된다. 이러한 비정질 표면층은 표면층의 경도를 증가시키고 동시에 부식이 시작되기 쉬운 입계를 소멸시키고 내식성이 좋은 부동태피막(passive film)의 형성을 촉진하기 때문에 마모저항성 및 부식저항성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.2 생체재료용 Ti의 마모거동

유사체액 내에서의 이온주입된 Ti 임플란트의 마찰거동을 조사하기 위하여 15~35 kV의 이온에너지로 주입된 시험편의 이온주입량별 마찰계수 변화를 측정하여 Fig. 7에 나타내었다.

실험시 용액의 온도는 체온과 유사한  $37 \pm 1$  °C로 조절하였으며 이때 가해진 하중은 10~30 g, 선속도는 약 28mm/sec로 유지한 상태에서 마모거리 35m까지 마찰계수 변화를 측정하였다. 마모시험시 상대재료로는 3mm루비볼을 사용하였으며 매 시험시 새볼을 사용하였고 시험편의 표면상태는 #1200 사포로 연마된 상태였다.

Fig. 7에서 이온주입된 시험편과 루비볼의 37°C 유사체액 내에서의 마찰계수는 이온주입에너지가 15, 25 kV, 시험하중이 10g일 경우 주입에너지 및 이온 주입량에 별로 영향을 받지 않으므로 인해 0.36으로 거의 일정한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 7에서 시험하중이 10g에서 30 및 50g으로 증가하는 경우 마찰계수는 시험하중, 이온주입량 및 주입에너지 등에 별로 영향을 받지 않고 0.46으로 거의 일정한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한 Fig. 7에서 이온주입에너지가 35 kV인 경우는 앞의 경우와는 달리 낮은 이온주입량에서는 주입량이 증가할수록 마찰계수가 모두 점차로 증가하나, 높은 이온주입량에서는 주입량이 증가할수록 마찰계수의 증가율이 더 커짐을 기울기 변화율로부터 알 수 있다.

이와 같이 특정 주입조건에서 마찰계수가 증가하는 것은 표면층의 질소원자의 양으로 설명할 수 있는데 Fig. 5에서 관찰한 바와 같이 낮은 이온주입량의 경우 최표면층에는 비교적 질소원자의 양이 낮으나  $5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>의 경우 매우 높은 질소원자의 양을 나타내고 있다.

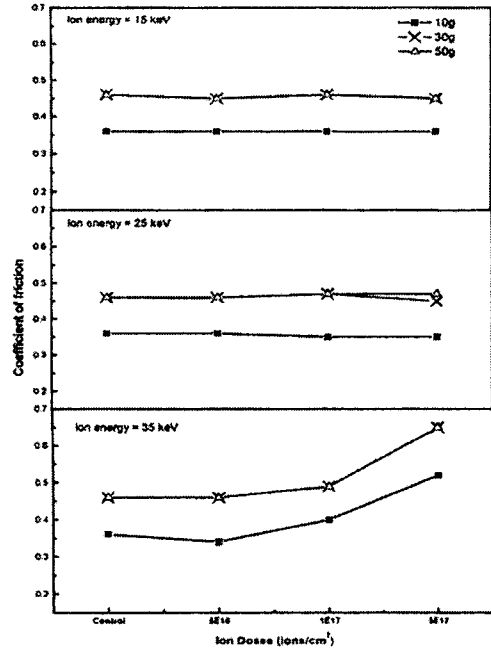


Fig. 7 Variations of dynamic coefficient of friction of Ti implanted with various ion doses at 15, 25 and 35 kV ion energies

이온주입 과정에서 입사이온과 기관원자의 탄성충돌시, 기관원자가 격자위치에서 이동하는데 요구되는 임계에너지보다 큰 에너지( $E > E_d$ ; threshold energy for displacement = 25 eV)를 얻으면 연속적인 충돌인 collision cascade가 일어나고 기관원자는 원래의 격자자리로부터 이동하여 위치한다. 이온빔 조사에 의한 원자의 이동은 금속내에 많은 점결함(vacancy, interstitial atom)을 만들고 생성된 결함은 확산과 상호작용을 통해 결함의 집합체(stress field)에 축적되게 된다. 이러한 결함의 축적은 비정질화된 표면층을 생성시키고 결과적으로는 표면층을 경화시키는 역할을 하게 될 것이다. 이를 확인하기 위하여 35 kV의 주입에너지로 주입한 시험편의 주입량별 표면경도를 측정하여 Fig. 8에 나타내었다.

이 그림으로부터 이온주입량이  $1 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup> 이상으로 증가함에 따라 표면경도의 향상을 가져왔음을 알 수 있는데 이로부터 임계주입량 이상의 주입에 의해 표면층이 경질화되며 이로

인해 경질 루비볼과 경질 표면층의 마찰에 기인한 마찰계수의 증가를 일으켰다고 사료된다.

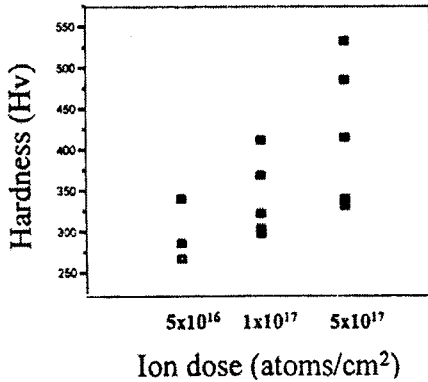


Fig. 8 Variations of surface hardness of Ti implanted with various ion doses at 35 kV ion energy

유사채액중에서의 마모거동에 미치는 이온주입의 영향을 조사하기 위하여 각 마모하중에서 일정거리(35m)를 시험한 뒤 마모흔의 넓이를 평균폭으로 측정하였으며 이를 Fig. 9에 나타내었다.

이온을 주입하지 않은 시편(control)에 비해 이온주입량과 마모하중이 증가함에 따라 마모흔의 평균폭이 점차 더 감소하고 있으며, 주입에너지가 15kV에서 25kV로 증가하여도 이러한 경향은 크게 변하지 않음을 Fig. 9로부터 알 수 있다. 이온주입량이 증가할수록 마모흔의 평균폭이 감소하는 것으로 미루어 보아 내마모성이 증가함을 알 수 있고, 또한 이온주입에너지가 15kV에서 25kV로 증가하여도 마모흔의 폭이 크게 변하지 않는 것으로 미루어 보아 이러한 주입에너지 범위내에서는 주입에너지의 변화가 내마모성에 크게 영향을 미치지 않음을 Fig. 9로부터 알 수 있다.

그러나 이온주입에너지가 35kV로 증가하는 경우 이온주입량이 5x10<sup>17</sup>atoms/cm<sup>2</sup>으로 증가하였을 때 다른 이온주입량의 경우와는 달리 마모하중과는 무관하게 마모흔의 폭이 크게 감소함을 Fig. 9에서 볼 수 있다.

이와 같은 결과는 낮은 이온주입의 경우에는 앞서 설명한 바와 같이 금속내에 많은 점결함을

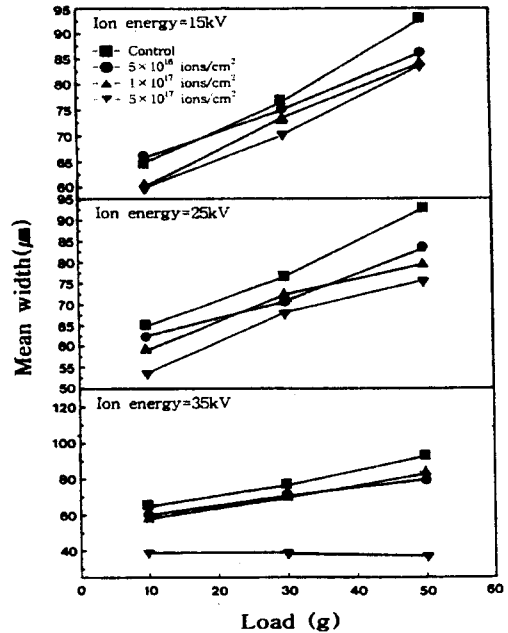


Fig. 9 The width of wear track changes as a function of applied load and ion dose

만들고 생성된 결함은 확산과 상호작용을 통해 결함의 집합체에 축적되고 여분의 에너지는 불규칙 격자의 응력에너지로 축적된다. 침입형과 치환형 주입원자, 결함집합체, 새로운 석출물은 각각 응력장을 형성하고 이런 응력의 축적은 거시적인 응력을 유발한다. 따라서 이로 인해 Fig. 8과 같이 표면경도가 증가하게 되고 증가된 표면경도 만큼 마모흔의 폭이 감소하게 된다. 그러나 높은 에너지와 주입량 조사시 많은 점결함 생성이 일어나며 국부적으로는 고에너지의 이온으로부터 전이된 에너지에 의해서 5,000~15,000 °C까지 온도가 증가되지만 10 ns내에 원자 운동에 의해 대부분 소실되며 이러한 급냉효과에 의해 국부적으로 비정질상이 형성되기도 한다.

Fig. 8 및 Fig. 9에서 볼 수 있는 바와 같이 주입에너지와 이온주입량이 모두 높을 경우 다른 것에 비해 표면경도가 크게 나타나고 또한 마모흔의 폭이 크게 감소하는데 이것은 비정질상에 의한 표면경화 효과에 기인하는 것으로 사료된다.

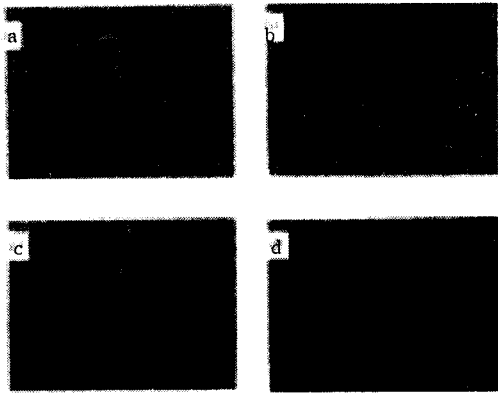


Fig. 10 The SEM micrographs of worn surface of ion implanted Ti at 35 kV with (a) control (b)  $5 \times 10^{16}$  (c)  $1 \times 10^{17}$  (d)  $5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup> of ion dose

이것을 확인하기 위해 주입에너지를 35 kV로 일정하게 유지시키고 이온주입량을 변화시켜 얻은 시편의 마모손상면을 SEM사진으로 나타낸 것이 Fig. 10이다. 앞에서 예상했듯이 이온주입량이 적을 경우 Fig. 10에서 볼 수 있는 바와 같이 비교적 평활하고 마모면에도 돌기가 적음을 알 수 있으나, 이온주입량이 증가할수록 마모면이 거칠고 커다란 마모부스러기와 돌기들을 관찰할 수가 있어 위와 같은 해석을 뒷받침 할 수 있다.

#### 4. 결 론

- 1) 다양한 이온주입의 조건에 따른 질소이온의 농도 분포와 주입 깊이를 예측하고 최적의 이온주입의 조건을 결정하기 위해 행해진 시뮬레이션 결과와 실험 결과는 다소 상이한 주입 양상을 보이고 있지만 전반적인 경향은 잘 일치하였다.
- 2) 질소이온 주입층의 조성 및 구조 분석결과, 질소이온의 주입깊이는 에너지가 증가하면 순차적으로 증가하며, 이온주입량이 증가함에 따라 Ti모재에 주입된 질소원자의 양도 증가함을 알 수 있다. 또 모든 이온주입량에서는 화학조성의 변화를 보이지 않고 단지 결정구조 또는 미세조직의 변화만을 가져온 것으로 사료된다.

- 3) Hank's 용액중에서 마찰거동을 조사한 결과, 이온주입에너지가 15 kV, 25 kV인 경우 이온주입량이 마찰계수에 영향을 거의 미치지 않아 마찰계수는 이온주입량이 변해도 거의 일정한 값을 나타내었으나, 주입에너지가 35 kV인 경우 이온주입량이 증가할수록 마찰계수는 크게 증가하였다. 이는 높은 주입량에서 표면층에 국부적으로 형성된 비정질상에 의한 표면경화 효과로 사료된다.
- 4) 마모량에 있어서는 주입에너지와 주입량의 증가에 따라 모든 경우 마모량이 감소하였으며, 특히 주입에너지가 35 kV인 경우 현저한 내마모성의 향상을 가져왔다. 본 실험의 범위내에서 이온주입에너지가 35 kV, 주입량이  $5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>2</sup>인 경우 가장 우수한 내마모거동을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- 1) P.D. Bianco, P. Ducheyne and J.M. Cuckler, "Local accumulation of titanium released from a titanium in the absence of wear", J. Biomed. Mater. Res., Vol. 31, pp. 227~234, 1996.
- 2) Z.L. Sun, J.C. Wataha, and C.T. Hanks, "Effects of metal ion on osteoblast-like cell metabolism and differentiation", J. Biomed. Mater. Res., Vol. 34, No. 1, pp. 29~37, 1997.
- 3) D.C. Smith, R.M. Pilliar, R. Chernenky, "Dental Implant Materials. I: Some Effects of Preparative Procedures on Surface Topography", J. Biomed Mater. Res., No. 25, No. 9, pp. 1045~1068, 1995.
- 4) C.B. Johansson, Ph. D. Thesis, Univ. of Gothenburg, Sweden, 1991.
- 5) 김철생, "생체재료로서의 바이오 세라믹 코팅" 월간세라믹스, 제2호, pp. 82~87, 1992.
- 6) T. Hanawa and K. Asaoka, "Surface treatments in dental materials", 表面技術, Vol. 46, No. 10, pp. 26~30, 1995.
- 7) N.E.W. Hartley, W.E. Swindlehurst, G.



- Dearnaley and J.F. Turner, "Friction Changes in Ion-Implanted Steel", *J. Mater. Sci.*, Vol. 8, pp. 900~904, 1973.
- 8) G. Dearnaley, W.A. Grant, "Ion implantation", Conference: Recent Developments in Surface Coating and Modification, London, UK, 10 Oct., pp. 43~47, 1985.
- 9) J.R. Conard, R.A. Dodd, S.H. Han, M. Madaoura, J. Scheuer, K. Sridharan, F.J. Worzala, "ion beam assisted coating and surface modification with plasma source ion implantation", *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 8, No. 4, pp. 3146~3151, 1990.
- 10) J.R. Conard, R.A. Dodd; F.J. Worzala; X.Qiu, "Plasma source ion implantation: A new cost-effective, non line of sight technique for ion implantation of materials", *Surf. Coat. Technol.*, Vol. 36, pp. 927~937, 1988.
-