

HA(Hydroxyapatite) 표면처리 기술을 적용한 임플란트의 적용가능성 검토 Review on Application of Hydroxyapatite Coated Orthopedic Implant

*#전정수¹, 문장엽², 김현순¹, 고철용³, 권식철²

*#C. S. Chon(suhohoon@solco.co.kr)¹, J. W. Moon², H. S. Kim¹, C. W. Ko³, S.C. Kwon⁴

¹ (주)솔고바이오메디칼 의공학연구소, ² 한국기계연구원 부설 재료연구소 하이브리드코팅연구그룹,
³ 한국생산기술연구원 실버기술개발단

Key words : Hydroxyapatite, osteointegration, biocompatibility, micro-plasma spray

1. 서론

고령화 사회로의 진입이 가속화됨에 따라 고령화 환자에 대한 연구들이 다양한 분야에서 이루어지고 있으며, 특히 골다공증관련 치료에 많은 연구들이 집중되고 있다.

HA(Hydroxyapatite)는 인체의 뼈와 주성분과 구조가 유사하고, 인체친화성이 우수하며, 생체적합성(biocompatibility) 및 생체안정성(biostability)이 좋아 임플란트가 뼈나 주변 생체조직에 잘 융화될 수 있도록 도와주는 장점이 있어 골다공증환자에게 적합한 것으로 알려져 있다.^{1,2}

그러나 HA는 생체활성 세라믹으로 낮은 파괴강도와 취성의 단점을 가지고 있어, 적용이 제한되고 있다. 이에 대한 해결 방안으로써 금속(Titanium) 소재에 HA를 코팅하는 방법이 사용되어 지고 있다. 금속 소재에 코팅된 HA는 기계적 특성과 우수한 생체친화성이 결합하게 되고, 금속 재질에 대한 HA 코팅은 향상된 부식저항성과 골접합성(osteointegration), 골생성률을 높일 수 있다.³ 코팅방법에는 스퍼터링법과 졸-겔법, 그리고 용사 코팅법 등이 있으며 가장 많이 사용되는 방법이 용사 코팅법이다. 그중에서 용사의 정밀성과 근접성을 고려하여 개발된 마이크로 플라즈마 용사(MPS)는 implant와 같이 소형 부품의 적용성이 우수한 것으로 알려져 있다.³

마이크로플라즈마 용사에서 파우더의 주입 위치와 공급률, 플라즈마 가스의 조성, 스프레이 거리, 플라즈마 전류는 HA코팅에서 중요한 변수이며, 특히, 플라즈마 전류, 용사 거리, 플라즈마 가스 이송률 등은 HA의 결정성에 많은 영향을 끼치고, 코팅층의 두께와 표면 형상 등에도 많은 영향을 미친다.²

본 연구에서는 MPS 방식으로 HA 코팅기술 노하우를 확보함과 동시에, 여러 가지의 실험인자에 기인하여 형성된 코팅막의 특성을 평가하고자 하였으며, 코팅막의 특성 평가는 밀착력, 탄성계수, 두께 균일도로 정하였으며, 코팅막의 특성평가를 통해 실험인자가 위의 특성에 미치는 영향성을 파악하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 실험방법 및 시편 제작

실험은 MPS(Micro-plasma spray)를 사용하였으며(Fig. 1), 밀착력, 탄성계수, 코팅두께를 측정하여 평가하였다. 밀착력은 인장시험기(Instron 4485)를 이용하여 시험조건(18case)에 따라 각각 3개씩 측정하였고, 탄성계수는 나노 인덴터(MTS XP nano indenter)를 사용하여 각각의 시편에 대해 15회를 측정하였으며, 박막두께는 코팅된 시편에 대해 단면 샘플을 채취하여 SEM을 사용하여 단면 두께와 편차를 분석하였다.

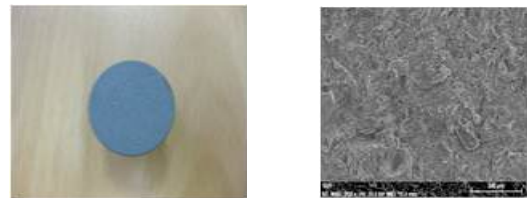
시편의 제작은 ASTM C633-79의 규격에 의거해 Fig. 2의 (a)와 같이 지름 25.4mm의 원형의 형태로 가공하였다. 또한, 실험의 전처리 단계로서 모재 시편에 대한 grit blasting을 실시하였으며, grit blasting의 조건은 분사각: 90°, 분사압: 6bar, 분사 거리: 120mm로 고정 하였으며, 1mm 사이즈의 white Al₂O₃를 사용하였고, Fig. 2의 (b)와 같은 표면 형상을 이루었다.

Grit blasting 후의 거칠기는 surface profiler를 사용하여 Ra: 9.42 ± 4.63um, Rq: 11.66 ± 5.45um의 거칠기를 측정하였다. Fig. 3은 grit blasting 후의 표면 형상에 대한 프로파일을 보여준다.



Fig. 1 Micro-plasma spray(MPS) system

HA코팅을 위한 파우더는 Teknimed社의 50~80um의 비구형 형태의 HA파우더를 사용하였다.



(a) Test specimen image (b) Specimen surface image

Fig. 2 Grit blasting images

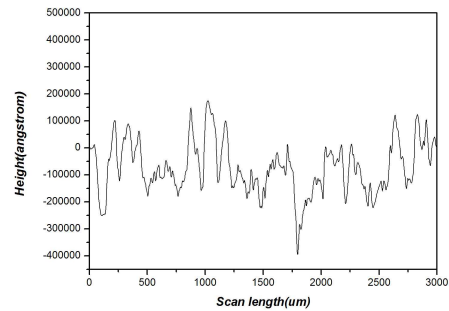


Fig. 3 Surface profile of test specimen

2.2 실험설계

실험은 Fig. 4와 같이 진행하였으며, 장비의 특성상 용사건(gun)의 움직임이 제한되어, 평판형의 코팅 모재가 균일하게 막을 형성하기 위해서는 코팅 모재인 Ti모재가 360°회전하며, 좌우로 이동하게 설계하여 실험하였다. 용사건의 세부 작동 인자의 조건은 Table 1과 같이 고정하였다.

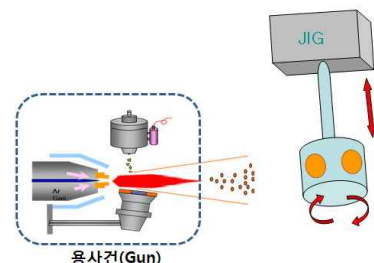


Fig. 4 Diagram for HA coating test

실험의 인자는 아래의 Table 2와 같이 선정하였으며, 실험설계는 다꾸찌법을 사용하였고, 7개의 인자, 3개의 수준을 나타내는 L18(2³7)을 사용하여 직교 배열 하였다.

Table 1 Experimental condition

Factor	Condition
Nozzle diameter	1mm
Cathode diameter	1.6mm
Powder feeder diameter	1.5mm
The distance between nozzle and anode	2mm
Powder feeder position	The distance between nozzle and powder feeder :5mm

Table 2 Experimental parameter

Factor	Levels		
	1	2	3
A. Arc current (A)	35	40	45
B. Plasma gas Ar (SLPM)	1	1.5	2
C. Stand -off distance (mm)	80	120	160
D. Turning velocity (rpm)	10	30	50
E. Right-Left velocity (mm/s)	0.1	0.2	0.3
F. Feeding Rate (g/min)	0.1	0.2	0.4
G. Shielding gas Ar (SLPM)	3	4	5

3. 결과 및 토의

L18(2³7)실험에 따른 각각의 실험결과를 Fig 5-7에 표시하였다. 밀착력 시험의 경우 시험조건 No. 9는 Fig. 5에 나타난 것과 같이 접착강도가 실험 조건 No.12, 14에 비해 낮은 결과 값을 보이나 실험 조건 No.12, 14는 두께가 30.8um 미만으로 No. 9(51.0um)에 비해 낮아 모재의 표면에 용사된 HA과우더가 적절한 적층을 이루지 못하여, 부분적인 적층이 발생한 것으로 사료되며, 이러한 현상으로 인하여 Ti-Ti 접착재의 밀착력 수치(60.7MPa)와 근사값(54.6MPa)을 갖는 것으로 사료된다. 따라서 충분한 적층 두께에 대한 최적의 접착강도는 No. 9의 35.8MPa로 판단된다.

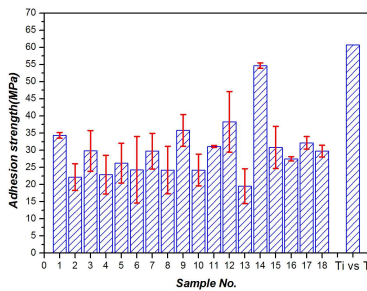


Fig. 5 Block diagram of bonding strength

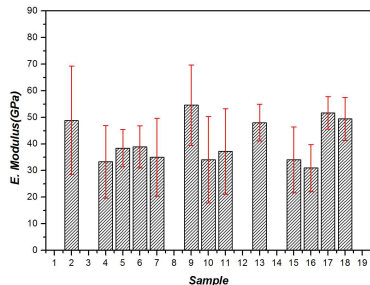


Fig. 6 Block diagram of elastic modules

탄성계수 측정 시 HA코팅 층의 기공과 미세크랙 등의 영향으로 부정확한 이루어진 측정에 대해서는 전체 측정에서 제외하였으며, 나노인덴테이션 측정에 필요한 최소 코팅 두께 등의 조건에 부합하지 않은 샘플은 측정에서 제외하였다.

실험 조건 No.9와 No.17번에서 상대적으로 높은 탄성계수인 54.6MPa과 51.6MPa이 도출되었다.(Fig. 7) 각각의 실험조건에

대하여 밀착력, 탄성계수, 코팅두께를 평가하여 최적의 인자들을 도출하였으며 그 결과는 Table 3과 같다.

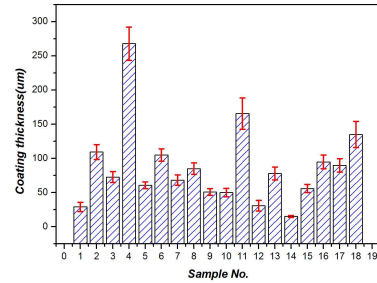


Fig. 7 Block diagram of coating thickness

또한 도출된 최적의 인자를 적용하여 정형의과용 임플란트인 척추경 나사못(pedicle screw)에 HA를 코팅을 실시하여 실제 적용 임플란트에 대한 적용 가능성을 검토하였다.(Fig 8)

Table 3 Optimized coating parameter

Factor	A	B	C	D	E	F	G
Elastic modulus	A3	B2	C2	D3	E2	F2	G2
Bonding strength	A3	B3	C1	D1	E2	F1	G3
Thickness	A3	B1	C1	D2	E3	F3	G2
Optimum condition	A3 (45A)	B2 (1.5slpm)	C1 (80mm)	D3 (50rpm)	E2 (0.2mm/s)	F2 (0.2g/min)	G2 (4slpm)



Fig. 8 HA coated pedicle screw

4. 결론

본 연구를 통해 HA-용사 코팅 층의 특성에 관한 밀착력과 탄성계수, 코팅 두께에 관한 특성치를 평가하였으며, 밀착력 35.8MPa와 탄성계수 54.6GPa의 결과를 얻었으며, 기존의 대기압 용사에 의한 측정치 보다 높은 값을 나타내었다. 또한 특성 분석을 통한 실험을 통해 HA 코팅에 대한 Know-how를 확보하였다. 다꾸찌 실험 설계를 통해 코팅 두께, 탄성 계수, 접착강도에 대한 최적 조건을 도출하였고, 이를 통해 생체용 임플란트에 적용되는 코팅의 최적 조건을 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 지식경제부의 우수제조기술연구센터(ATC)협회의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호: 10014102).

참고문헌

1. Y.P Lu, S.T Li, "Further studies on the effect of stand-off distance on characteristics of plasma sprayed hydroxyapatite coating", Surface and coatings technology 157 (2002)221-225.
2. In-Woong Lyo, "Study on the Spraying Parameters of a Plasma-sprayed Hydroxyapatite Coating", Journal of the Korea ceramic society, Vol. 36, No. 4, pp.444~450, 1999.
3. Yu. Borisov, "Microplasma spraying of bioceramics coatings", Thermal spray 2003: advancing the science & applying the technology, (Ed.) C. Moreau and B. Marple, materials Park, ohio, USA, 2003.
4. R. Narayanan, "Hydroxy apatite coatings on Ti-6Al-4V from sea-shell", Surface & Coatings Technology, 200 (2006) 4720 - 4730.