

CAD/CAM과 RP에 의한 생분해성 지지체 제작: 기초 연구

발제인 _ 정하승 _ 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 hasung@hongik.ac.kr

1. 소개

생분해성 지지체는 줄기 세포의 성장 및 새로운 조직의 형성을 통하여 뼈를 재생한다는 점에서 외과 수술에서 매우 중요한 부분이다. 이러한 생분해성 지지체는 생체 적합성, 생체 모방성, 생체 분해성 등을 갖추어야 한다. 또한 실제 사용되는 생분해성 지지체는 결점이 있는 부위에 적합한 크기이어야 하고, 일정한 하중을 견딜 수 있는 기계적 성질을 갖고 있어야 한다. 이러한 생분해성 지지체를 만드는데 SLS(selective laser sintering)를 포함하는 SFF(solid free-form fabrication) 기술을 융합하는 것은 굉장히 유용하게 사용될 것이다. 생분해성 지지체의 생체 적합성에 관련된 기존 연구내용을 통해, SFF와 같은 기술이 3D CT 데이터로부터 명확한 기공의 크기, 다공성, 침투성, 강성과 같은 내부의 다양한 구조물들의 해부학적인 형상을 디자인하는 것이 가능하게 한 것을 알 수 있다.

본 논문은 결함이 있는 골질 부분을 제거하고 재생시키기 위해서, Hydroxyapatite(HA)를 포함하는 생분해성 지지체를 설계하여 사용하였고 동물 실험을 위한 새로운 부검 계획안을 세워 실험적인 연구를 진행하였다.

2. 재료와 방법

이 기초 연구에서는 죽은 돼지의 아래턱을 추출하여 외과 수술을 실시하였다.

돼지의 오른쪽 아래턱 결점부분을 단층X선 촬영과 컴퓨터를 이용한 정밀 설계를 이용하여 가상의 3D 디지털 모형으로 만들었다. 관절구로부터 절개된 부분은 RP를 이용하여 만들어졌으며, 이러한 부분이 기존의 부분에 적합하게 맞는지 평가 되었다. 외과 수술용 가이드 시스템은 가상으로 계획된 뼈 조각들이 외과수술에 정확하게 적용되어 수술이 가능케 하였고 오른쪽 아래턱의 관절구에서 제거된 부분은 RP를 이용하여 제작된 생분해성 지지체로 교체될 수 있었다.

2.1 돼지 아래턱의 설계(CAD) 및 제작(RP)

전체적인 정보수집 절차의 경우 방사선과에 의해 이루어졌으며, 초기 아래턱의 CT조각들을 모은 후 3D 디지털 모형들을 영상구현, 데이터 해석 및 형상 재구성에 용이한 소프트웨어를 이용하여 적합한 부분부터 재구성하게 된다. 이러한 형상들을 기반으로 분할, 윤곽선 적출 및 표면 재구성을 반자동적으로 이루어지게 할 수 있다. 마지막으로 RP공정에 사용되는 STL 형태의 파일을 구성하는데 구멍을 채우거나, 잘못된

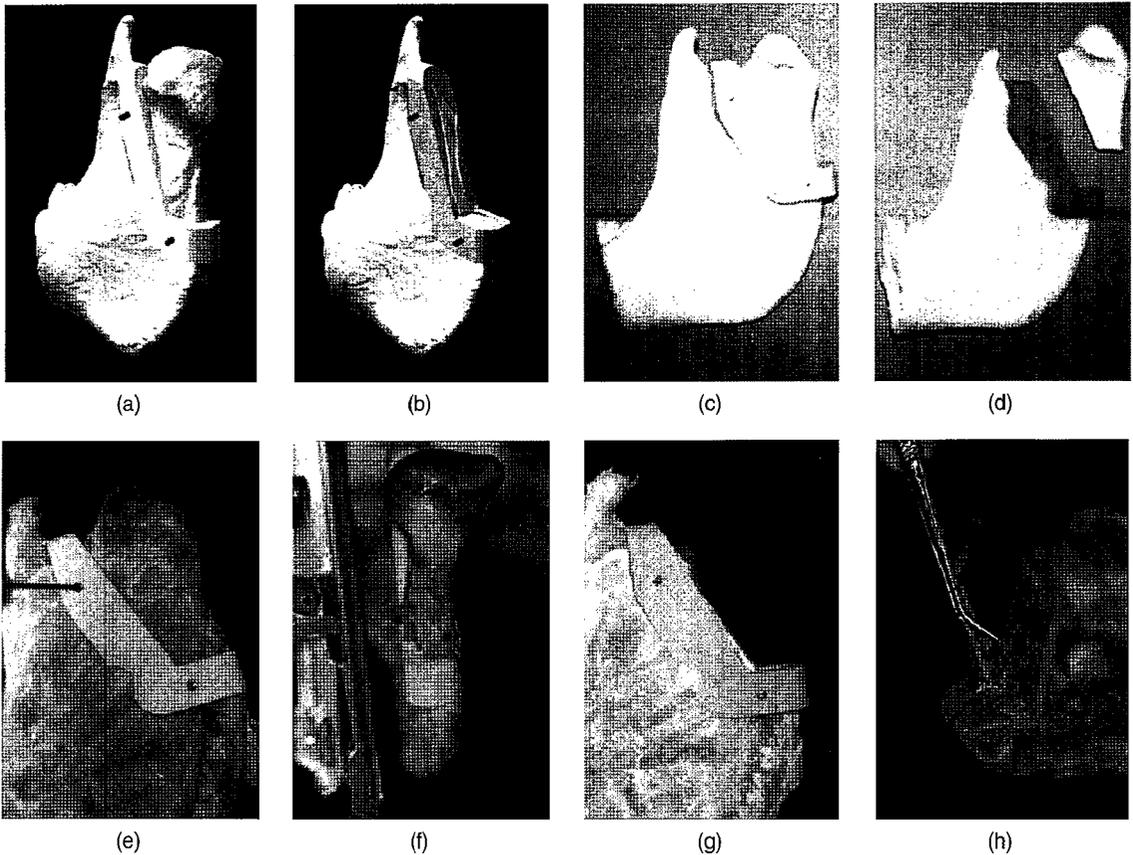


Fig. 1 (a and b) 가상으로 계획되고 디자인된 뼈의 모습
 (c and d) RP를 이용하여 계획된 외과 수술을 테스트해보는 모습
 (e and f) 초기 외과 수술 시 절개하는 모습
 (g and h) 외과수술 동안 잘린 부분을 다듬는 모습

부분을 삭제하는 것이 수동적으로 필요하게 되는데 Rapidform의 XOS2 소프트웨어를 이용하여 3차원 스캔 데이터를 수정하였다. 이렇게 가상으로 생성된 아래턱으로부터 결함이 있는 신경조각을 절단하는데, 이러한 가상 관절구 절개는 차후 외과수술에서 절개부분을 계획하는데 활용된다. 디자인된 모델들은 Stratasys Dimension SST 3차원 프린터를 이용하여 만들어지며, 이러한 기술은 RP시스템의 기반인 FDM방식을 이용하였다.

2.2 외과수술 가이드에서의 CAD 와 RP

두 가지의 외과수술용 가이드는 외과수술의사에게 맞춤형 설계 방법을 제시하여 외과수술의 가상계획안을 제시하는데 도움을 줄 수 있으며 실제 외과수술을 계획하는데 효율적으로 활용 되어질 수 있다. 첫 번째 가이드는 관절구를 절개하는데 활용되고 두 번째 가이드는 절개된 표면을 상세히 검사하고 표면 처리하는 데 이용된다. 다음 그림은 그러한 과정을 그림으로 표현한 것이다.

2.3 외과 시술 실험

CT를 통하여 돼지의 아래턱을 측정한 후 외과수술용 가이드와 설계된 보조 물을 이용하여 수술하였다. 2개의 뼈에 사용되는 나사는 각각의 구멍에 정확하게 맞도록 구성되어졌다. 정확한 수술을 위하여 아래턱에 적합하게 사용하기 위해 신축성이 있는 재료를 이용하여 만들어진 외과 수술용 가이드를 사용하였으며, 계획된 순서에 맞추어 진행 하였다. 또한 뼈의 정확한 절개는 보조물로의 대체를 아주 정확한 위치에 접합

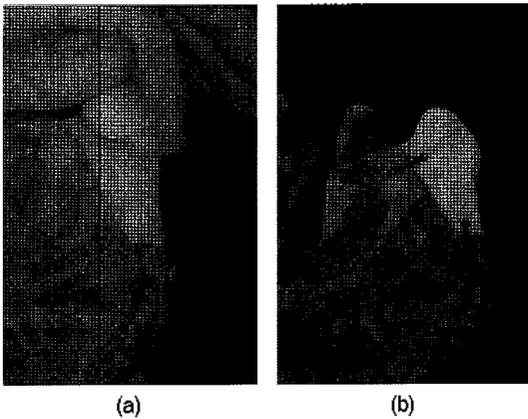


Fig. 2 (a and b) 최종적으로 보조물과 실제 뼈를 고정된 모습

하게 하였다. 이렇게 고정된 뼈를 접골관으로 덮고 같은 방법으로 외과용 가이드 부분에 구멍을 만들어 고정하였다. 그림 2는 제작된 생분해성 지지체를 아래턱에 시술한 최종 사진이며, 그림 3에서는 이러한 과정의 절차를 보여주고 있다.

3. 결과

본 연구에서 제시된 방법의 정확도는 Table 1에 나타난 바와 같이 가상의 환경에서 계획적으로 절개 하는 것과 실제 외과 전문의에 의해 제거되는 관절구를 비교하여 정량적으로 평가 되어졌다.

	Planned cut in the virtual environment	Actual cut made by the surgeon	Comparison (%)
Height of the cut (mm)	49.12	49.00	0.24
Depth of the cut (mm)	13.14	12.89	1.90
Angle of the cut (°)	111.61	110.53	0.97

Table. 1 주요 절개부분 치수 비교 자료

외과수술 후에, RP로 만들어진 관절구와 고정하고 있던 외과 가이드가 뼈로부터 분리되어 지고 역 공학 공정을 통하여 돼지의 아래턱에서 자란 부분을 데이터화 한다. Table1에 나타난 방법의 정확도는 뼈와 뼈 사이의 거리를 Rapidform에서 지원하는 기술로 측정하여 평가되었는데 결함있는 아래턱의 디지털 모델과 실제 잘려진 뼈를 스캔 한 모델 사이의 거리 차이를 색상의 형태로 보여주고 있는 분석 방법을 사용하였다.

최종적으로 전 과정의 효율성을 시간과 비용의 두 가지 면에서 평가하였다. 이러한 내용을 Table2에 보여주고 있으며, 과정에 필요한 총 시간은 외과용 가이드와 가상의 인공기관을 만드는데 8시간을 초과하지 않는다. 비용적인 측면에서 RP를 이용한 제품 제작 시 ABS재료를 모델에 필요로 하는데 매우 적은 비용을 필요로 한다.

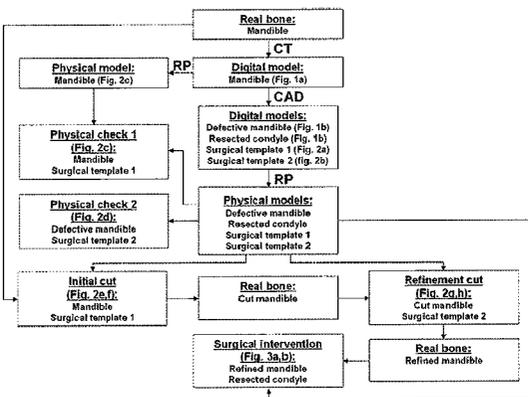


Fig. 3 본 연구의 계획 순서 및 이용된 기술



	CAD time (h)	ABS model material (cm ³)	Support material (cm ³)	Build time	Cost of material (€)
Intact mandibular ramus	2	46.75	23.81	12 h, 31 min	16.96
Defect mandibular ramus	-	40.68	15.84	10 h, 27 min	13.71
Condyle	-	7.93	4.42	2 h, 14 min	3.67
Surgical guide no. 1	3	5.20	2.10	45 min	2.64
Surgical guide no. 2	3	6.03	3.12	1 h, 1 min	3.07
Total	8	105.99	49.29	26 h, 58 min	40.07

Table. 2 제작 시 발생하는 시간과 비용 정리

4. 토의

공학자, 외과전문의 그리고 생분해성 지지체 디자이너의 협업은 이용할 수 있는 기구와 기술들의 능률적인 이용을 이끌어냈다. 기계공학과 의학 분야를 포함한 여러 분야에 걸친 연구들은 혁신적인 기술들을 공유할 기회를 제공했고, 지지체 설계와 외과 수술계획에 있어서 새로운 접근 방법을 제시하였다. 역설계, CAD/CAM, 가상 설계, RP와 같은 많은 기술들이 산업 설계 분야에서 탄생하고 발전했다. 현재 연구에서, 가상으로 설계되는 RP모델은 계획된 수술의 여러 가지 측면을 시험하고 뼈, 지지체, 그리고 외과 가이드의 물리적 복제품에 대한 사용자 피드백을 빨리 모으기 위해 적용되고 있다. 총 생산 시간과 비용은 그러한 수술들의 경제적인 영향을 결정하기 위해 평가되고 있으며 표2에 설명했듯이 이 준비조사와 모델들에 소비된 총 시간과 재료 비용은 감당할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 뼈 재생의학에서 다양한 실험 순서를 중

점으로 실험이 진행되었으며, 생체 조직외부에 복잡한 표면을 정교하게 CAD/CAM을 이용하여 제작 되어진 것에 의미를 가지고 있다. 앞으로 더욱 많은 연구와 발전이 필요하며 생체물질을 이용한 3차원 공정 실험 또한 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서 제시한 가장 큰 이점은 다음과 같다.

1. 뼈의 인공 보조 물을 설계하는 것은 뼈의 불완전한 부분이 재 생성되는데 도움을 준다.
2. CT 데이터를 CAD/CAM 그리고 RP기술을 접목하여 사용하였다.
3. 가상의 환경에서 디자인된 모델에서의 절개가 맞춤형 설계 템플릿에 활용 가능하다.



본 기사는 홍익대학교 정하승 편집위원이 아래의 논문에서 발췌하였으며, 더 자세한 내용은 아래의 논문을 참조하길 바란다.

L. Ciocca, F. De Crescenzo, M. Fantini, and R. Scotti, "CAD/CAM and rapid prototyped scaffold construction for bone regenerative medicine and surgical transfer of virtual planning: A pilot study", *Computerized Medical Imaging and Graphics*, Vol. 33 (2009) pp.58-62