

역공학과 쾌속조형공정을 이용한 정형외과수술기법 개발에 관한 연구

안동규[#], 이준영^{*}, 양동열^{**}, 한길영^{***}

Investigation into the Development of Technology for Orthopaedic Surgery Utilizing Reverse Engineering and Rapid Prototyping Technology

Dong-Gyu Ahn[#], Jun-Young Lee^{*}, Dong-Yol Yang^{**} and Gil-Young Han^{***}

ABSTRACT

The objective of this paper is to propose a new technology of the orthopaedic surgery using the combination of reverse engineering (RE) based on CT data and rapid prototyping (RP). The proposed technology utilizes symmetrical characteristics of the human body and capability of the combination of RE and RP, which rapidly manufactures three-dimensional parts from CT data. The original .stl data of injured extents are generated from the mirror transformation of .stl file for uninjured extents. The physical shape before injuring is manufactured from RP using the original .stl data. Subsequently, pre-operative planning, such as a selection of proper implants, preforming of the implant, a decision of fixation locations and an insert position for the implant, an estimation of the invasive size, and pre-education of operators are performed using the physical shape. In order to examine the applicability and the efficiency of the proposed surgical technology, various case studies, such as a distal tibia comminuted fracture, a proximal tibia plateau fracture and an iliac wing fracture of pelvis, are carried out. From the results of case studies, it has been shown that the proposed technology is an effective surgical tool of the orthopaedic surgery reducing the operational time, the operational cost, the radiation exposure of the patient and operators, and morbidity. In addition, the proposed technology could improve the accuracy of operation and the speed of rehabilitation.

Key Words : Rapid prototyping (쾌속조형공정), Reverse engineering (역공학), Technology of orthopaedic surgery (정형외과수술기법), Pre-operative planning (사전수술계획), Efficiency of surgery (수술효율)

1. 서론

1986 년 Stereolithography (SL) 공정이 개발된

이후 쾌속조형공정(Rapid Prototyping : RP)은 산업, 의학, 교육, 산업디자인 분야등 다양한 분야로 활용범위를 넓혀왔다. 쾌속조형공정은 CAD/CAM 환

접수일: 2004 년 1 월 16 일; 게재승인일: 2004 년 4 월 9 일

교신저자: 조선대학교 공과대학 기계공학과

E-mail smart@mail.chosun.ac.kr Tel. (062) 230-7043

* 조선대학교 의과대학 정형외과 교실

** 한국과학기술원 기계공학과

*** 조선대학교 공과대학 기계공학과

경에서 시제품을 신속히 제작할 수 있어 기존의 절삭가공 보다 시제품 제작시간, 비용 및 절차면에서 매우 효율적이다.¹ 역공학 (Reverse Engineering : RE)은 실물 형상을 직접식 또는 비접촉식으로 측정하여 CAD 데이터화함으로써 CAD 데이터가 없는 제품의 CAD 데이터 구축과 제작된 제품의 치수와 형상 특성 평가에 매우 용이하다.²

쾌속조형 공정과 역공학의 기술적 조합 (Combination of technology)은 제품 손상과 엔지니어의 노력을 최소화하고 실물형상의 제품을 빠른 시간내에 복제할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 쾌속조형공정과 역공학의 기술적 조합의 장점을 이용한 대표적인 적용 영역이 의공학 분야로³ Fig. 1 과 같이 1999년 이후 현재까지 전체 쾌속조형공정 시장의 매년 약 10% 정도가 의공학 분야에 해당되고 있다.⁴

최근 의공학에서는 수술 효율(수술시간, 수술 정확성, 유병율 등)의 개선, 환자에 대한 위험성/고통 감소 및 수술 오류에 의한 재수술 최소화를 목적으로 새로운 수술 기법들이 개발되고 있다. 이에 관련된 대표적인 연구분야로서 RAS(Robot-assisted surgery)와 CAS(Computer-assisted surgery)를 들 수 있다.⁵ CAS 의 한가지 대안으로 제시되고 있는 분야가 CT 데이터를 이용한 역공학과 쾌속조형공정을 기술적으로 조합하여 실물 형상의 관절을 제작한 후, 이 실물형상의 관절을 수술 계획 수립, 보철 기법 연구 및 사전 수술 교육에 적용하여 실제 환자 수술시 수술 효율을 높이는 방법이다.⁶

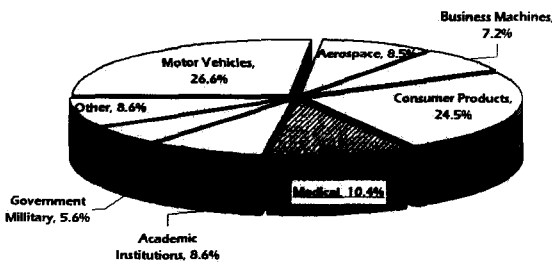


Fig. 1 Application area of rapid prototyping⁴

CT 데이터 기반 역공학과 쾌속조형공정을 이용한 CAS 기법에 관한 연구는 1992년 Mankovich

등에 의한 언청이(Cleft palate) 인체 모형을 SLA로 제작한 것부터 시작되었으며⁷, 주로 안면(두부, 턱뼈 등)의 기형/손상 수술용 모델 제작과 이 모델을 이용한 수술 계획 수립 및 보철에 연구가 집중되어 왔다.⁸

최근에는 정형외과 외상 수술에까지 적용 영역을 넓히고 있으며, 정형외과 외상 수술 효율을 혁신적으로 개선할 수 있는 미래 선도적 기법으로 다양한 연구들이 진행되고 있다. Potamianos 등은 사전 연구로서 견관절 복잡 골절의 내고정물 고정시 SLA 쾌속조형모델을 이용한 바 있다.⁹ Sanghera 등 FDM 쾌속조형 모델을 관절 교육과 사전 수술 계획 수립에 적용하기 위한 기초 연구를 수행한 바 있다.¹⁰ Brown 등은 역공학과 Thermojet 쾌속조형모델을 골반 비구후벽 골절 내고정물 고정시 활용한 바 있다.^{11, 12} 염진섭 등은 역공학을 이용하여 전방 십자 인대 등장점을 확인하였으며, Z-CORP 쾌속조형모델을 제작한 바 있다.¹³

본 연구에서는 인체 좌우 대칭 특성을 이용하여 CT 데이터로부터 역공학을 이용하여 파손/손상되기전 골절 CAD 데이터를 생성하고 이 데이터를 이용하여 파손/손상되기전 원형 골절을 복원하여 사전 수술 계획수립, 사전 보철작업 및 수술 의사 교육등을 실시함으로써 수술시 최소 침습적 피하 금속판 골유합술(Minimal invasive percutaneous plate osteosynthesis : MIPO)을 가능하게 하고 수술 효율을 극대화할 수 있는 역공학과 쾌속조형공정을 이용한 정형외과 수술기법을 제안하고자 한다. 제안된 기법을 경골 원위부 분쇄 골절, 경골 근위부 관절내 함몰 골절 및 골반 장골의 골절에 적용하여 제안된 기법의 적용성과 효율성을 검증하였다.

2. 역공학과 쾌속조형공정을 이용한 정형외과 수술 기법

본 연구에서 제안하고자 하는 역공학과 쾌속조형공정을 이용한 정형외과 수술 기법의 원리는 Fig. 2 와 같다. 제안된 기법은 인체의 많은 부분이 좌우 대칭의 특성이 존재함을 이용하였다. 본 기법은 CT 데이터의 3 차원 형상 복원과 거울 대칭 변환(Mirror transformation)을 통한 손상전 원형 골 CAD 데이터 복원, 쾌속조형공정을 이용한 손상/파손전 실물 원형골 복원 및 실물 원형골을 이

용한 사전 수술 계획 수립과 시술의 3 단계로 구성된다.

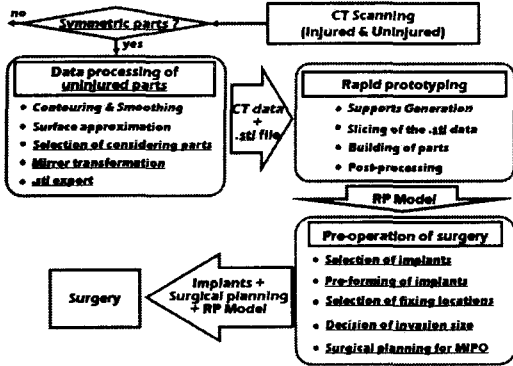


Fig. 2 Principle of the proposed orthopaedic surgery technology

2.1. 손상 전 원형골 CAD 데이터 복원

손상 전 원형골 CAD 데이터 복원 원리는 Fig. 3 과 같다.

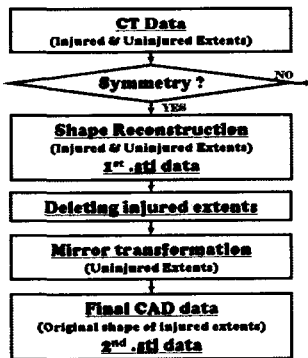


Fig. 3 Procedure of .stl data generation for original shape of injured extents

본 단계에서는 손상부위의 CT 촬영시 손상부 (Injured extent)와 비손상부(Uninjured extent)를 동시에 촬영한 후, 손상부와 비손상부의 대칭성 정도를 판단하여 본 기법의 적용 여부를 결정한다. 대상 인체부위의 대칭성이 높으면 전체 CT 데이터를 3 차원 복원하여 손상부와 비손상부에 대한 .stl 데이터를 생성한다. 전체 형상에 대한 .stl 데이터에서 비손상부를 거울 대칭 변환하여 손상

부의 손상전 원형골에 대한 .stl 데이터를 생성한다. Fig. 4 는 손상부의 손상전 원형골 CAD 데이터 복원과정을 골반(Pelvis)을 예로 나타내었다.

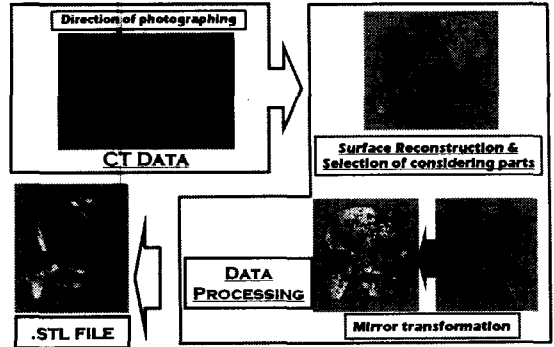


Fig. 4 Process flow to generate .stl data of original shape for injured extents. (Pelvis)

2.2. 손상 전 원형골 실물 형상 복원

손상 전 원형골 CAD 데이터 복원에서 제작된 손상 전 원형골의 .stl 데이터를 쾌속조형공정용 CAD/CAM 시스템에 입력시켜 서포터 생성, 적층 방향 결정 및 슬라이싱의 쾌속조형공정을 위한 입력 데이터 생성을 수행한다. 이 데이터를 쾌속조형공정에 입력시켜 한층씩 적층하여, 손상 전 원형골의 실물 형상 모델을 복원한다.

Fig. 5 는 손상전 원형골 실물 형상 복원 과정을 경골 원위부(Distal tibia)를 예로 나타내었다.

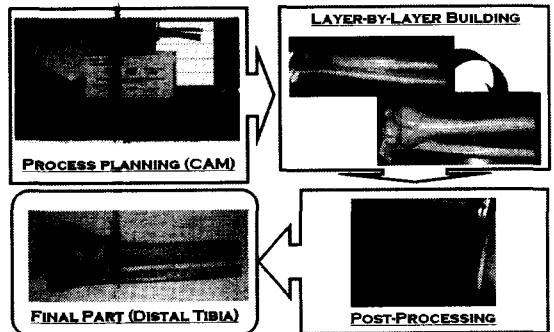


Fig. 5 Manufacturing procedure of a physical shape for the original bone of injured extents (Distal tibia)

2.3. 실물 원형골을 이용한 사전수술계획 수립 및 시술

캐속조형공정으로 제작된 손상측의 손상전 실물 원형골 형상을 이용하여 Fig. 6 과 같이 개별 인체 형상에 적합한 사전 수술 계획을 수립한다.

먼저, Fig. 7 과 같이 실물 원형골 형상을 이용하여 개별 인체에 적합한 임플란트(Implant) 선정을 수행한 후, 실물 원형골 형상에 적응하도록 선정된 임플란트를 성형(Pre-forming)하여 수술용 임플란트를 제작한다.

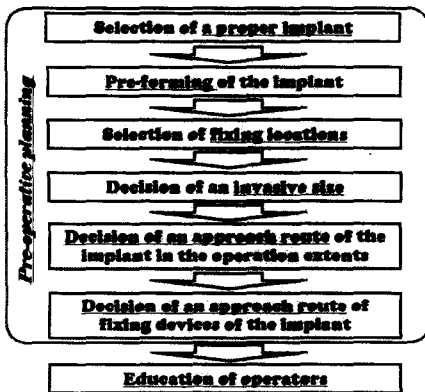


Fig. 6 Process flow of pre-operative planning using the physical shape of the original bone for injured extents.

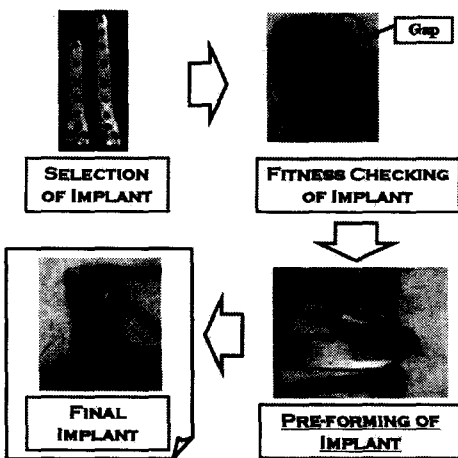


Fig. 7 Pre-operative planning (Selection and pre-forming of implant)

그후, 제작된 수술용 임플란트를 이용한 임플란트 고정위치, 인체 절개 부위 및 절개 크기, 임플란트 및 고정장치 인체 진입경로와 진입각도를 결정한다. 최종적으로 수술절차를 확정하고 실물 원형골 형상과 사전 수술계획을 이용하여 시술자의 사전교육을 수행한다.

사전 수술 계획과 수술 의사 교육, 손상전 원형골 실물 모형 및 사전 성형된 임플란트를 이용하여 손상된 골절부를 수술한다.

3. 실험 방법 및 절차

본 연구에서는 경골 원위부 분쇄골절, 경골 근위부 분쇄골절 및 골반 장골의 골절에 제안된 기법을 적용하였다.

CT 데이터 생성은 SIEMENS SOMATOM Plus 4 장치를 이용하였다. 각 적용 예에 대한 CT 슬라이싱 간격과 이송간격은 Table 1 과 같다. CT 데이터는 DICOM 파일형식으로 저장하였다.

Table 1 Interval of slicing and feeding for CT scanning

Part	Slicing Interval (mm)	Feeding Interval (mm)
Distal tibia	2	1.5
Proximal tibia	2	1.5
Iliac wing of pelvis	3	2

CT 데이터의 3 차원 형상 복원은 MIMICS 6.0¹⁴ 을 이용하였다. Fig. 8 과 같이 MIMICS 에서는 1 차적으로 입력된 CT 데이터를 이용하여 3 가지 방향의 이미지를 생성하여 모델의 방향성을 확인한 후, .stl 파일 형태로 3 차원 입체 형상 CAD 데이터를 생성한다. 이 데이터를 .stl 데이터 편집기인 magic RP 에서 손상측 데이터 삭제 및 비 손상측 데이터 거울 대칭 변환을 수행하여 손상측 손상전 원형골 CAD 데이터를 복원하였다.

손상측 손상전 원형골 실물 형상은 Sysopt 사의 Objet Quadra¹⁵ 를 사용하였다. Objet 공정은 1536 개의 노즐에서 광경화수지를 선택적으로 분사한 후, UV 램프로 분사된 광경화수지를 경화시키는

단위공정을 반복적으로 수행하여 3 차원 제품을 계속 제작하는 적층조형 공정이다. Objet 공정의 적층 간격은 0.02 mm 이다.

실물 형상으로 복원된 손상측 손상전 원형골은 조선대학교 의과대학 정형외과 교실에서 해당 환자에 대한 사전 수술 계획 수립과 수술 의사 교육에 사용되었다.

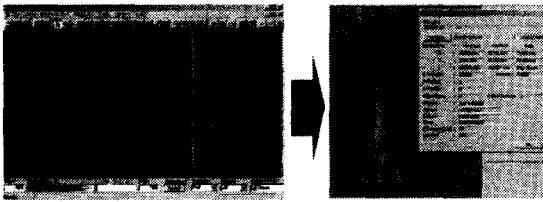


Fig. 8 Generation of .stl file for a distal tibia using MIMICS software

본 기법의 효율성을 검증하기 하기 위하여 수술 시간, X-RAY 조사횟수, 수술 절개 크기를 측정하여 본 기법을 적용하기 전의 본교 정형외과 교실 데이터와 정량적으로 비교 분석하였고, 환자의 재활속도 측면에서 결과 분석을 수행하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 경골 원위부 분쇄골절 실험결과 및 고찰

족관절 주위 골절중의 하나인 경골 원위부 분쇄 골절에 대하여 제안된 기법을 적용하였다.

본 실험은 Fig. 9 와 같이 왼쪽 경골 원위부가 분쇄된 경우이며, 경골 원위부의 특성상 좌우 대칭이 뚜렷하였다. 건축인 오른쪽 경골 원위부 골을 CT 로 촬영하고 MIMICS 를 이용하여 3 차원 형상 복원을 하여 1 차 .stl 데이터를 생성하였다. Magic RP 를 이용하여 1 차 .stl 데이터를 거울 대칭 이동하여 손상측의 손상전 원형골 .stl 데이터를 복원하였다.

.stl 데이터 생성 시간은 10 분이었으며, 파일 크기는 12MB 였다. 손상측 손상전 원형골 .stl 데이터를 Objet Quadra 에 입력시켜 손상측 원형골 실물형상을 복원하였다. 원형골 실물형상 제작시간은 8 시간 정도가 소요되었다. 제작된 원형골 실물형상을 이용하여 인체형상에 적합한 임플란트를 선정 후, 원형골 실물 형상 윤곽과 임플란트의

형상 적응도를 검증하였다. 선정된 임플란트가 인체 형상 통계데이터가 반영된 해부학적 금속판 (Anatomical plate)임에도 불구하고 원형골 실물형상 윤곽과 임플란트 사이에 최대 5 mm 의 틈새(Gap)가 존재하였다. 이것은 인체 형상 통계데이터가 한국인 체형기준이 아닌 미국인 기준 데이터로 생성되었기 때문으로 사료된다. 원형골 실물형상과 임플란트 사이의 형상적응도를 향상시키기 위하여 원형골 실물형상 윤곽에 맞추어 임플란트를 사전 성형 하였다. 성형된 임플란트를 이용한 수술전에 환자의 임플란트 고정위치 선정과 최소절개가 되는 절개 위치 및 절개 크기를 결정하였다.

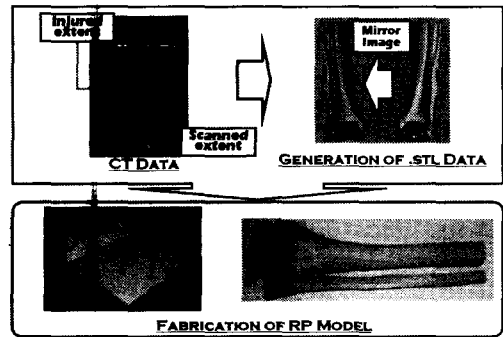


Fig. 9 Procedure of shape reconstruction and a physical prototyping for a distal tibia

임플란트 고정위치는 Fig. 10 과 같이 족관절 내과 상방과 경골간부 3 곳과 이를 기준으로 무릎 쪽 5 개곳을 선정하였다. Fig. 10 과 같이 절개부위는 A 위치를 선정하였으며, 절개 크기는 2cm 로 결정하였다. 또한, 원형골 .stl 데이터와 원형골 실물형상을 이용하여 수술전에 임플란트 진입 방향과 진입각 결정, 수술절차 결정 및 수술자 교육을 하였다.

Table 2 와 Fig. 11 은 경골 원위부 분쇄 골절 실험 결과이다. 사전 수술 계획, 손상측 손상전 원형골 실물 형상을 이용한 경골 원위부 골절 수술에서 수술 시간의 경우 40 분 정도로 제안된 기법을 사용하지 않았을 때에 비하여 50% 정도의 수술 시간을 단축할 수 있었다. 수술중 임플란트 위치 확인을 위한 X-RAY 촬영횟수를 1 회만 수행함으로써 제안된 기법을 사용하지 않았을 때에 비하여 70% 이상 환자에게 투입되는 방사선량이 감소

와 이로 인한 유병을 감소효과를 얻을 수 있었다.

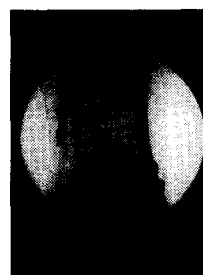
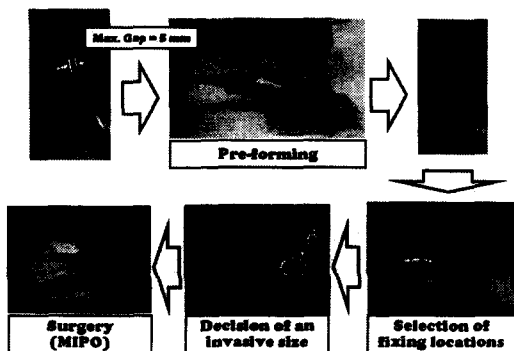


Fig. 11 Results of surgery for the case of a distal tibia utilizing the proposed technology

Fig. 10 Pre-operative planning and operation of MIPO (Distal tibia)

수술 절개 크기가 제안된 기법을 사용하지 않았을 때에 비하여 50% 이하로 감소되어 최소침습적 골유합술이 가능하였다. 또한, 최소침습적 골유합술을 이용하여 시술하여도 임플란트의 인체형상 적응도가 높아 관절에 부가되는 잔류 응력 및 조직 박리가 최소화되어, 재활 기간중 환자의 재활 속도가 현저히 향상됨을 확인할 수 있었다.

Table 2 Results of experiment for the case of a distal tibia

Generation time of .stl data for an original bone shape (min)	10
Size of .stl data (MB)	12
Building interval (mm)	0.02
Building time of the original bone shape (hr)	8
Operational time (min)	40 (50% 감소)
# of X-RAY exposure	1 (70% 감소)
Invasive size (cm)	2 (50% 감소, MIPO)

4.2 경골 근위부 함몰골절 실험결과 및 고찰

Table 3 은 경골 근위부 함몰골절에 제안된 기법을 적용한 결과이다.

본 실험은 Fig. 12 와 같이 왼쪽 경골 근위부가 함몰된 경우이며, 3 개의 골이 연결된 연결자 (Joint)부 이어서 시술방법 결정시 골의 3 차원 형상 실물 형상 모델이 꼭 필요한 경우였다.

Table 3 Results of experiment for a proximal tibia

Generation time of .stl data for an original bone shape (min)	20
Size of .stl data (MB)	7.9
Building interval (mm)	0.02
Building time of the original bone shape (hr)	9
Operational time (min)	40 (50% reduction)
# of X-RAY exposure	2 (30% reduction)
Invasive size (cm)	4 (20% reduction, MIPO)

함몰되지 않은 오른쪽 경골 근위부를 CT 로 촬영하고 3 차원 형상 복원과 거울대칭 변환하여 손상측의 손상전 원형골 .stl 파일을 복원하였다. .stl 파일 생성시간은 20 분 이었으며, 파일크기는 7.9MB 였다. .stl 데이터를 Objet Quadra 에 입력시켜 손상측 원형골 실물형상을 복원하였다. 원형골 실물 형상 제작 시간은 9 시간 소요되었다.

제작된 원형골 실물형상을 이용하여 적합한 임플란트를 선정한 후, 이 임플란트의 인체형상 적응도를 검증하였다. 그 결과 Fig. 12 와 같이 경골 상단부에서 최대 6 mm 정도의 틈새가 존재하였다. 또한, 약 15° 정도의 비틀림 성형이 요구됨을 알 수 있었다. 이 결과를 이용하여 임플란트를 사전성형 하였다. 성형된 임플란트를 이용하여 임플란트 고정위치선정, 절개위치 및 절개크기를 결정하여 최소침습적 피하 금속판 골유합술을 위한 사전수술계획을 수립하였다. 절개위치는 Fig. 12 와 같이 무릎하부의 위치를 결정하였으며, 절개크기는 4 cm 로 결정하였다. 또한, 원형골 실물형상을

이용하여 임플란트 진입방향 결정, 수술 절차 결정 및 수술자 교육을 하였다.

제안된 기법을 경골 근위부 함몰골절 수술에 적용한 결과 수술시간과 X-RAY 조사횟수는 각각 40 분과 2 회로, 제안된 기법을 적용하지 않았을 때에 비하여 수술시간과 X-RAY 조사횟수의 감소율이 각각 50% 와 30% 였다. X-RAY 조사횟수 감소에 의하여 환자와 의사에게 투입되는 방사선 투사량이 감소되었다. 수술시간과 X-RAY 조사횟수가 감소됨에 따라 환자 유병율이 감소될 것으로 사료된다. 절개크기의 경우 제안된 기법을 적용하지 않은 경우에 비하여 20% 정도의 절개크기 감소효과를 얻을 수 있었다.

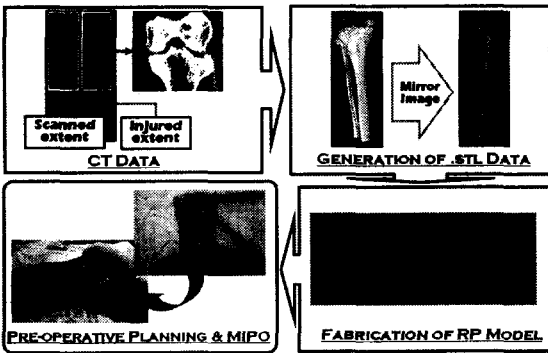


Fig. 12 Results of experiments for the case of a proximal tibia

4.3 골반 장골의 골절 실험결과 및 고찰

Table 4 과 Fig. 13, 14 는 골반 장골의 골절에 제안된 기법을 적용한 결과이다.

전체를 CT 로 촬영하여 MIMICS 로 3 차원 형상 복원하여 1 차 .stl 데이터를 생성한 후, Magic RP 에서 분쇄된 왼쪽 .stl 데이터를 삭제하고 오른쪽 .stl 데이터만을 거울 대칭 변환하여 손상측 손상전 원형골.stl 데이터를 복원하였다. .stl 파일 생성시간은 15 분 이었으며, 파일크기는 6.4MB 였다. .stl 데이터를 Objet Quadra 에 입력시켜 손상측 원형골 실물형상을 복원하였다. 원형골 실물 형상 제작 시간은 26 시간 정도 소요되었다.

제작된 원형골 실물형상을 이용하여 적합한 임플란트를 선정한 후, 이 임플란트의 인체형상 적응도를 검증하였다. 골반 장골의 특성상 윤곽의 굴곡이 심하여 굽힘 성형이 많이 요구되어, 굽

힘 성형에 전문적으로 사용되는 임플란트인 골반 재건 금속판 (Pelvic reconstruction plate)을 선정하여 골반 장골의 인체 형상에 적응하도록 임플란트 사전성형을 수행하였다.

Table 4 Results of experiment for the case of an iliac wing fracture of pelvis

Generation time of .stl data for an original bone shape (min)	15
Size of .stl data (MB)	6.4
Building interval (mm)	0.02
Building time of the original bone shape (hr)	26
Operational time (min)	45 (50% 감소)
# of X-RAY exposure	2 (50% 감소)

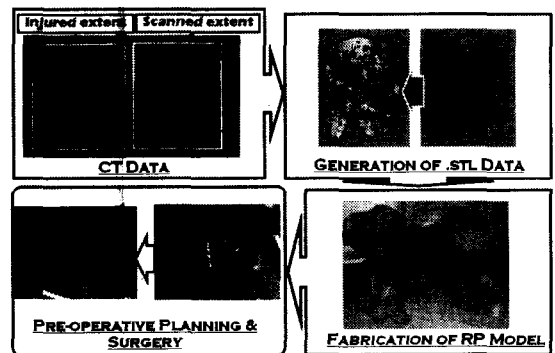


Fig. 13 Whole process of the proposed technology for the case of an iliac wing fracture of pelvis

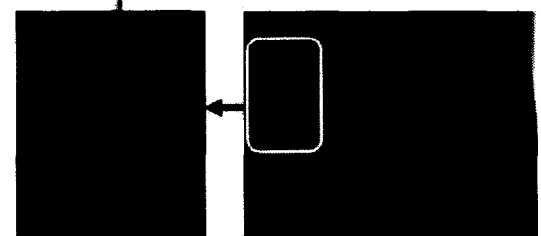


Fig. 14 Results of experiment for the case of an iliac wing fracture of pelvis

Fig. 13 과 같이 골반 장골의 분쇄 골절의 경우 기하학적 형상 특성에 의하여 정확한 손상부 고정을 위하여서는 2 개의 골반 재건 금속판이 소요되었다. 임플란트의 삽입 위치, 고정위치등을 결정하였으며, 수술을 위한 절개 위치를 결정하였다. 또한, 원형골 실물형상을 이용하여 수술 절차 결정 및 수술자 교육을 하였다.

제안된 기법을 골반 장골의 분쇄 골절수술에 적용한 결과 수술시간과 X-RAY 조사횟수는 각각 45 분과 2 회로써, 제안된 기법을 적용하지 않았을 때에 비하여 수술시간과 X-RAY 조사횟수가 50% 이하의 감소를 나타내었다. 그 결과, X-RAY 조사횟수 감소에 의하여 환자와 의사에게 투입되는 방사선 투사량이 감소되었다.

수술장에서 임플란트와 환자 골절의 불일치에 의한 내고정물 재성형 없이 수술이 가능하였으며, 정확히 예측된 사전 수술 계획에 따라 시술자의 수술중 시행 착오 없이 매우 효율적으로 수술을 완료할 수 있었다. 또한, 수술후 임플란트의 인체형상 적응도가 높아 골에 부가되는 잔류응력 및 조직 박리가 최소화되어, 재활 기간중 환자의 재활 속도가 현저히 향상됨을 확인할 수 있었다. 본 예의 경우 26 시간의 실물형상 제작이 시간이 소요 되었으나, 수술 계획이 CT 촬영후 7 일 이후에 예정되어 있어 실물형상 제작시간이 전체적인 수술 일정에 영향을 미치지 못하였다. 또한, 실물형상 제작시 추가된 모델 제작시간이나 비용에 의한 단점적 요소에 비해 실물형상의 쾌속조형모델을 사용하여 정확한 시술을 수행함으로써 환자의 재활속도가 현저히 향상되는 장점적 요소가 크다는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 인체의 많은 부분이 좌우 대칭의 특성이 존재함을 핵심 아이디어로 하여 CT 데이터로부터 역공학을 이용하여 건축의 CAD 데이터를 생성하고 이 데이터를 거울 대칭 변환하여 손상측 손상전 원형골의 3 차원 CAD 데이터를 생성하였다. 생성된 데이터로 쾌속조형공정에서 손상측 손상전 원형골 실물 형상을 제작하고 이 실물 형상을 이용하여 사전 수술 계획 수립, 임플란트 사전 성형 및 수술 의사 교육등을 실시함으로써 수술 효율의 개선과 수술 오류의 최소화 및 환

자 고통 감소와 재활 속도 개선이 가능한 역공학과 쾌속조형공정을 이용한 정형외과 수술기법을 제안하였다.

제안된 기법을 경골 원위부 파손 골절, 경골 근위부 함몰 골절 및 골반 장골의 골절에 적용하였다. 사전 수술 계획 단계에서 환자의 인체형상에 적응하는 임플란트 선정, 임플란트 사전 성형, 임플란트 고정 위치 결정, 환자 절개 크기/위치 결정 및 수술 기법 선정등을 수행할 수 있었다. 또한, 수술자에 대한 사전 교육을 손상측 손상전 원형골을 이용하여 수행함으로써 수술자의 빠른 환자 인체 특성 인식과 사전 수술 계획 숙지등이 가능하였다. 그 결과, 수술 시간의 경우 50% 이하, 환자 X-RAY 조사율은 30-50% 이하, 환자 절개 크기는 20-50% 이하로 감소되었다.

사전 수술 계획과 사전 수술 교육이 철저히 수행됨에 따라 수술장에서 임플란트와 환자 골절의 불일치에 의한 임플란트 재성형 없이 수술이 가능하였으며, 정확히 예측된 사전 수술 계획에 따라 시술자의 수술중 시행 착오 없이 매우 효율적으로 수술을 완료할 수 있었다. 수술시간과 X-RAY 조사횟수가 감소됨에 따라 환자 유병율이 감소될 것으로 사료된다. 또한, 수술후 임플란트의 인체형상 적응도가 높아 골에 부가되는 잔류응력 및 조직 박리가 최소화되어, 재활 기간중 환자의 재활 속도가 현저히 향상됨을 확인할 수 있었다.

추후 제안된 기법을 손상정도가 극도로 심각한 복합 골절, 인공 관절 재 치환술 및 선형성 기형골의 골 결손등으로 연구 범위를 확대하고, 추가적인 기계공학적/의학적 통계적 분석을 수행하여 제안된 기법의 일반성과 적용성을 확보할 예정이다. 또한, 본 연구에 사용된 쾌속조형 모델제작 시 고가의 제작 비용과 최대 1560 분의 모델제작 시간의 단점을 보완하기 위하여 모델의 강도를 유지하면서 인체의 형상 특성을 빠른 시간내에 구현할 수 있는 적절한 저가형 고속 쾌속조형공정 선정에 대한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Kulkarni, P., Marson, D. and Dutta, D., "A review of process planning techniques in layered manufacturing," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 6, No. 1, pp. 18 - 35, 2000.

2. Choi, H. R., Jun, Y., Chang, M., Rho, H. and Park, S., "A reverse engineering system for reproducing a 3D human bust," Proceedings of 2003 Spring Conference on KSPE, pp. 15-19, 2001.
3. Winder, J., Cooke, R. S., Gray, J., Fennin, T. and Fegan, T., "Medical rapid prototyping and 3D CT in the manufacture of custom made cranial titanium plates," Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 23, No. 1, pp. 26 - 28, 1999.
4. Wholer, T., "Wholers report 2003, Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry," Wholers Associates Inc., 2003.
5. Kai, C. C., Meng, C. S., Ching, L. S., Hoe, E. K., and Fah, L. K., "Rapid prototyping assisted surgery planning," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, pp. 624 - 630, 1998.
6. Goto, M., Katsuki, T., Noguchi, H. and Hino, N., "Surgical simulation for reconstruction of mandibular bone defects using photocurable plastic skull modes : report of three cases," Journal of Oral & Maxillofacial Surgery, Vol. 55, pp. 772 - 780, 1997.
7. Stocker, N. G., Mankovitch, N. J. and Valentino, D., "Stereolithographic models for surgical planning : preliminary report," Journal of Oral & Maxillofacial Surgery, Vol. 50, pp. 446 - 471, 1992.
8. Web, P. A., "A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector," Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 24, pp. 149 - 153, 2000.
9. Potamianos, P., Amis, A. A., Forester, A. J., McGurk, M. and Bircher, M., "Rapid prototyping for orthopaedic surgery," Proceedings of the Institute Mechanical Engineering Part H : Journal of Engineering in Medicine, Vol. 212, pp. 383-393, 1998.
10. Sanghera, B., Naique, S., Papaharilaou, Y. and Amis, A., "Preliminary study of rapid prototypes medical models," Rapid Prototyping Journal, Vol. 7, No. 5, pp. 275-284, 2001.
11. Brown, G. A., Brenton, M. and Firoozbaksh, K., "Application of Computer-Generated Stereolithography and Interpositioning Template in Acetabular Fracture: A Report of Eight Case," Journal of Orthopaedic Trauma, Vol. 16, No. 5, pp. 347-352, 2002.
12. Brown, G. A., Firoozbaksh, K., Decoster, T., Reyna, J. R. and Moneim, M., "Rapid prototyping : The future of of trauma surgery ?," Journal of Bone and Joint Surgery, Vol. 85-A, Supplement 4, pp. 49-55, 2003.
13. Yeom, J. S., Lee, K. W., Kim, M. H., Kim, Y., Kim, N., Lee, J. B. and Choy, W. S., "Surgical simulation for placement of isometric point of anterior cruciate ligament : A system using three-dimensional computer models and rapid prototyping models," J. of Korean Orthopaedic Association, Vol. 37, No. 5, pp. 600-605, 2002.
14. <http://www.materialise.com>
15. <http://www.sysopt.co.kr>