

넙다리무릎뼈 의료용 디지털 영상 및 통신 표준 영상을 이용한 맞춤형 모델링과 5축 가공기술의 융합적 연구

윤재호¹, 김형균^{2*}

¹주광정밀(주) 대표이사, ²극동대학교 방사선학과 교수

Convergent Study of Personalized Modeling and 5-Axis Machining Technology Using Patellofemoral Bone DICOM Image

Jae-Ho Yoon¹, Hyeong-Gyun Kim^{2*}

¹CEO, Jukwang Precision CO. LTD.

²Professor, Department of Radiological Science, Far East University

요 약 넙다리무릎뼈 의료용 디지털 영상 및 통신 표준 영상으로 스테레오리소그래피 파일을 변환하고, 유니그래픽스 카드 프로그램으로 점, 선, 면의 정보들이 존재하는 카드 모델링을 만들었다. 관절면의 모델링 추출은 유니그래픽스 라피드 스페싱 기능으로 스테레오리소그래피의 가까운 두 점을 선으로 이어주고 그 선들을 이어 면을 만들어 모델링을 완성하였다. 이러한 모델링 추출과정은 관절면 방향에 대한 해부학적 지식을 바탕으로 하였다. 그 결과 넙다리무릎뼈의 관절면에 대해 맞춤형 스페이스 모델링과 솔리드 모델링을 제작할 수 있었다. 이후 흑연소재에 대해 솔리드 모델링을 캠 제어하는 연산 작업을 거쳐 넙다리무릎뼈의 5축 형상 가공을 하였다. 이로써 넙다리무릎뼈의 의료용 디지털 영상 및 통신 표준영상을 이용한 개인 맞춤형 인플란트 모델링 방법이 기술되었다.

주제어 : 넙다리무릎뼈, 의료용 디지털영상 및 통신 표준영상, 5축 가공, 모델링, 인플란트

Abstract DICOM images of patellofemoral bones were converted into a stereolithography file, and a Unigraphics CAD program was used to create a CAD modeling in which there exists point, line and facet information. The modeling extraction of joint facets was performed by linking two adjacent points into lines in the stereolithography file by using the Unigraphics rapid spacing function and then linking the lines into facets to complete the entire modeling. This modeling extraction was performed based on the anatomical knowledge of joint facet directions. As a result, a personalized space modeling and solid modeling were produced for the joint facets of patellofemoral bones. This was followed by a CAM control computing operation of solid modeling on graphite materials and 5-axis machining of patellofemoral bones. That is the description of a method for a personalized implant modeling by using DICOM images of patellofemoral bones.

Key Words : Patellofemoral bones, DICOM, 5-axis machining, modeling, implant

1. 서론

인간의 수명이 고령화 패턴으로 변하고, 인류의 기술이 진보하면서 노후화 된 인체 부위를 대체할 수 있는 기술들이 시도되고 있다. 이는 인간의 사회적 관심과 욕구

를 충족할 수 있는 기술들이 필요성에 의해 발전한 결과이기도 하다. 그중에서도 인간의 직립보행과 장시간 사용으로 노후화 된 무릎관절은 많은 질환과 공존하고 있어 관련 연구들이 많이 시도되고 있다. 최근에는 디지털 의료영상 기반의 3차원 영상으로 인체와 동일하게 모델

*Corresponding Author : Hyeong-Gyun Kim (jung7818@hanmail.net)

Received August 13, 2018

Accepted November 20, 2018

Revised September 10, 2018

Published November 28, 2018

링 하는 역설계 기술들이[1-3] 개인의 맞춤형 무릎관절 연구들에 시도되고 있다[4,5]. 하지만 이러한 기술들은 설계 모델링 기반 기술로 선과 면의 정보가 없는 의료영상을 동일하게 적용하는 데에는 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서 시각적 표현 영역이 인체 피사체와 동일할 정도로 진단 기술들이 향상된 0.5mm 볼륨 디지털 영상 및 통신 표준영상(Digital Imaging and Communications in Medicine; DICOM) 데이터(data)를 역설계 기술에 적용하였다. 이러한 역설계 기술은 데이터 정보가 없는 제품 측정이나 스캔으로 수치적 캐드(Computer Aided Design; CAD) 모델을 생성 할 경우 가공과 편집을 위해서는 반드시 필요한 기술이다[6]. 또한 설계된 모델링은 절삭가공 방식의 5축 가공을 통하여 다양한 형상표면을 가공할 수 있기 때문에 두 영역이 융합된 시너지 효과 기술을 얻고자 하였다[7-10]. 이와 같이 본 연구에 적용된 역설계 기술은 모델링 프로그램과 모델러(modeler)의 능력에 따라 다양한 방법들이 제공되었지만 본 연구에서는 넓다리무릎뼈의 해부학적 이해를 바탕으로 점(point)과 선(line) 그리고 표면 윤곽 방향의 형상 면(face)을 하나씩 이어서 만드는 방법으로 적용하였다. 또한 5축 가공에 적용된 흑연소재는 인체에 삽입되는 인플란트 소재는 아니지만 가공된 형상 표면을 유용하게 판단할 수 있어, 실험소재로 선택되었다. 실험에 적용된 캠(Computer Aided Manufacturing; CAM) 연산시간, 5축 가공시간은 소재가 상이한 관계로 본 실험에 제한적이지만 넓다리무릎뼈 형상에 대한 5축 가공기술을 참고하고자 기술하였다. 또한 DICOM 영상을 이용한 스테레오리소그래피(Stereolithography; STL) 파일 변환은 최근 의료영상을 이용한 3D 프린팅 기술을 쉽게 적용할 수 있어 본 연구의 모델링 설계에 적용하였다[11-15]. 현재 임상에서 무릎 관절면을 대체할 수 있는 일정한 크기의 인플란트가 제작, 적용되고 있지만 본 연구는 DICOM 영상으로 개인 맞춤형 인플란트 제작의 새로운 방법을 기술하고자 연구하였다. 이와 같이 본 연구를 통하여 인체와 동일한 넓다리무릎뼈의 맞춤형 형상이 제작된다면 수술자와 수요자의 개인적 치료 효과를 높여 그 활용도와 만족도는 높일 수 있다고 판단된다.

2. 연구 방법

2.1 실험 과정

본 연구에 사용된 데이터는 전산화 단층 촬영(computed tomography; CT)장치에서 0.5mm 볼륨 스캔(volume scan)으로 획득 된 무릎관절(knee joint) 다이콤(DICOM) 영상을 익명 처리 한 후 테라리컨(Terarecon) 프로그램에서 먼쪽 넓다리뼈(distal femur) 만 볼륨 렌더링(volume rendering) 추출하였다. Fig. 1.

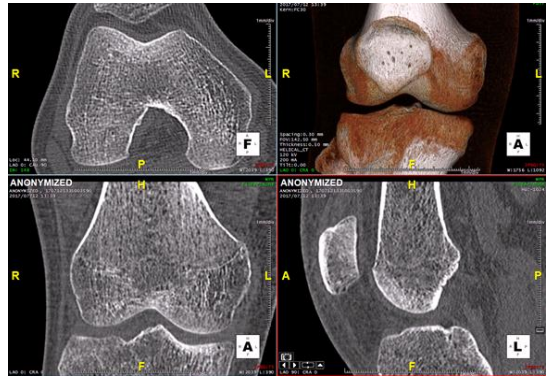
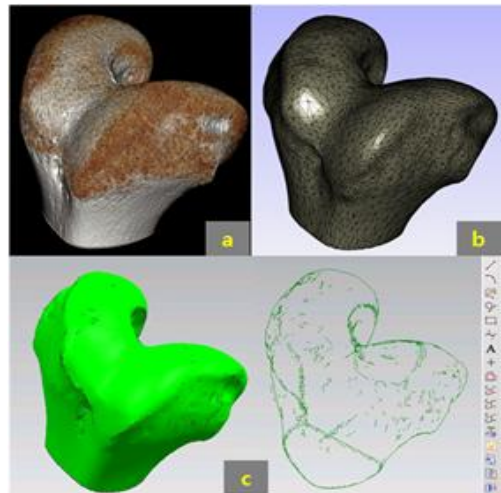


Fig. 1. DICOM volume data of Patellofemoral bones and volume rendering images.

추출된 넓다리무릎뼈는 동일한 형상의 스테레오리소그래피 파일로 변환하고 공학용 유니그래픽스(Unigraphics) 프로그램에서 솔리드(solid) 모델링을 설계하였다. Fig. 2 형상화된 솔리드 모델링은 워크엔시(Work NC) 프로그램에서 공구경로를 제어(tool)하고 5축 가공을 통하여 모델링 형상을 5축 가공하였다.



This figure shows (a) volume rendering, (b) stl file and (c) Unigraphics import file.

Fig. 2. A shape of patellofemoral bone extracted in the 3D image

Table 1. Machining materials, tools and machining methods

information	Graphite material	Material Size (mm)	FLAT Tool number	BALL Tool number	Processing method
Contents	ELLOR + 25	85 x 73 x 65	6, 10	6	5-axis

2.2 실험 장치

실험에 사용된 의료영상 획득은 640 Multislice CT(Aquilion ONE, Toshiba, Japan)장치, 형상 가공은 5축 가공장치(RXP 600 DSH, Roders GmbH, Germany)를 사용하였다. Fig. 3



Fig. 3. Computer Tomography equipment & 5-axis machining unit^[3]

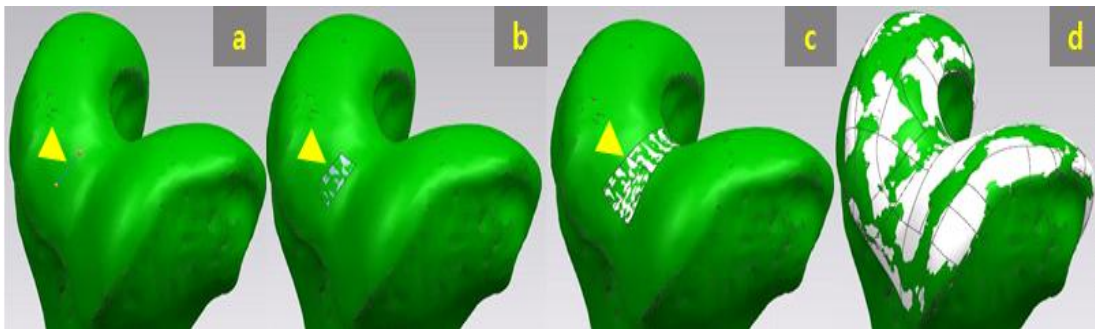
역설계를 위한 넙다리무릎뼈 의료영상 추출은 Terarecon(AquariusNET, TERARECON, USA)프로그램을 사용하였으며, 모델링 설계와 모델링비교는 Unigraphics(NX11, Siemens, Germany), 5축 가공 수치 제어는 WorkNC(Auto 5, Vero Software group, France) 프로그램을 사용 하였다. 넙다리무릎뼈 형상은 흑연재료로 소재크기는 85 x 73 x 65 mm 이다. 가공방법은 5축 가공방식으로 절삭하였으며 사용된 공구는 평면(flat) 및

볼(ball) 공구들을 사용하였다. Table 1

3. 결과

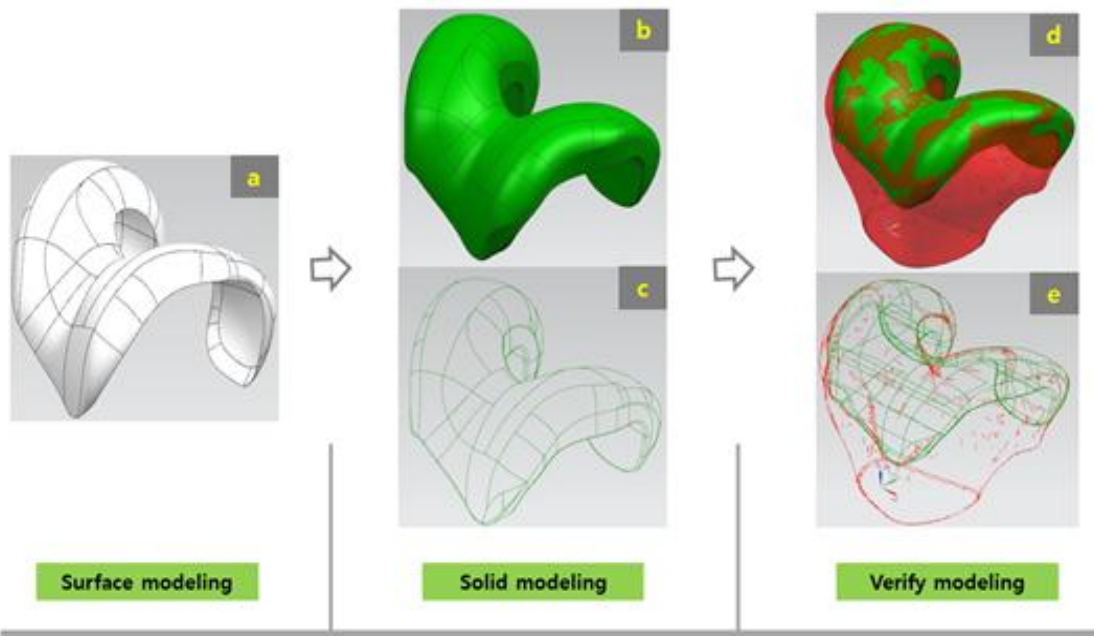
3.1 관절면 역설계 모델링

넙다리무릎뼈 형상의 DICOM 및 스테레오리소그래피 파일을 설계된 카드 방식의 선(line), 면(surface)이 없기 때문에 동일한 구역의 모델링을 위해서 역설계를 진행하였다. 역설계는 인간의 직립보행으로 하중을 많이 받는 무릎 관절면 상측을 Fig. 4 와 같이 모델링 하였다. 우선 스테레오리소그래피 파일을 유니그래픽스 프로그램의 라피드 스페싱(rapid surfacing) 기능으로 가까운 점의 위치를 찾아 그림(a) 와 같이 두 점을 이은 선을 만들고 형상의 방향에 맞는 이웃 점들을 다시 만들어 그 점들을 하나씩 이어서 그림 (b, c) 와 같이 면을 만들었다. 최종적으로 목적하는 형상표면의 관절면 전체를 연결하는 선과 면을 만들어 표면(surface)을 완성하고 넙다리무릎뼈의 관절면에 스페이스 파일이 일치되는 (d)의 모델링을 완성하였다. Fig. 4



This figure shows a process of (a) extracting lines that link two points, (b,c) arbitrary facets formed by linking the lines; and (d,e) the facet of the same surface on the entire joint facet.

Fig. 4. A modeling process of the surface of a joint facet using the Unigraphics program (yellow arrowhead)



This figure shows a process of (a) modeling an extracted surface of the joint facet and (b,c) modeling a three-dimensional solid shape, and (d,e) a process of comparing the original stereolithography modeling and a newly created solid modeling.

Fig. 5. A process of designing surface modeling with solid modeling and confirming the designed surface modeling

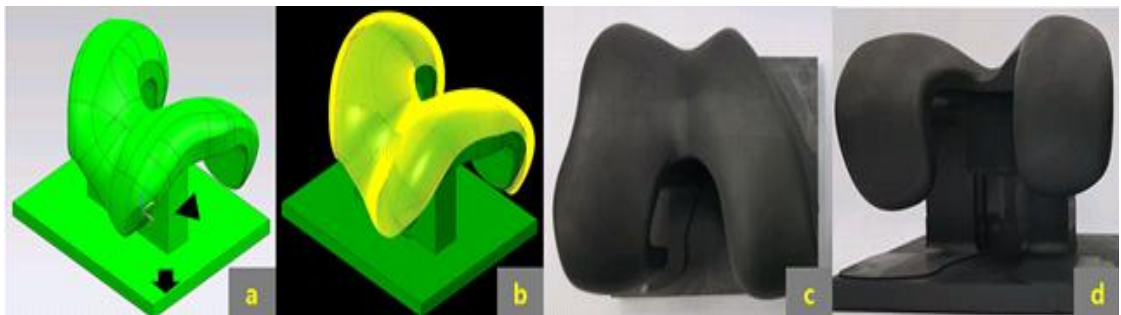
3.2 솔리드모델링 설계와 형상 확인

넙다리무릎뼈 관절면 서페이스 모델링을 캠(CAM) 가공과 가공 후 일정한 모양을 유지하기 위해 동일 두께의 역구배로 입체 모델링을 만들었다[Fig. 5]. Fig. 5의 (b, c)는 서페이스를 입체 형태로 만든 솔리드 모델링이다. (b)는 외부형상만 음영처리(shaded)된 것이고, (c)는 철골구조(wireframe)로 윤곽선만 나타내었다. (d, e)는 완성된

솔리드 모델링을 원본 넙다리무릎뼈 스테레오리소그래피 형상과 비교하는 과정으로 원본보다 크거나 작지 않은지 선, 면, 모서리의 외곽윤곽을 입체적으로 확인하였다.

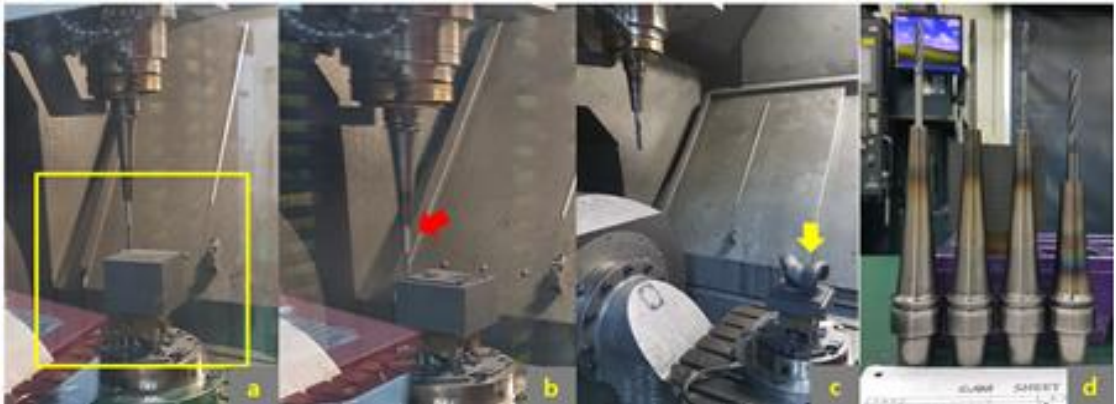
3.3 CAM(Computer-Aided Manufacturing) tool 및 형상 가공

솔리드 모델링된 넙다리무릎뼈의 관절면 아래쪽에 지



This figure shows (a) a modeling with setting facets created (arrowhead-machining support, arrow-setting facets), (b) a CAM tool for 5-axis machining control (yellow line), and (c,d) the shape of 5-axis machined graphite.

Fig. 6. Setting facets for solid modeling machining, a CAM control tool and 5-axis machining shapes



This figure shows (a) graphite materials (yellow box), (b) tools under machining conditions (red arrow), (c) 5-axis machining shapes and (d) tools used in the experimentation

Fig. 7. A process of 5-axis machining that uses graphite materials and the tools used

Table 2. Comparison of the Computer Aided Manufacturing(CAM) work computation time for the modeling

unit: time

process	condition	time(hour : minute : second)	
		CAM calculation time	manufacturing time
manufacturing	rough manufacturing	00 : 01 : 51	00 : 33 : 21
	semi-finishing	00 : 07 : 26	00 : 09 : 33
	finishing	00 : 38 : 29	01 : 23 : 01
	total time	00 : 47 : 56	02 : 05 : 55

지대와 셋팅면을 추가적으로 만들었다. Fig. 6 이는 5축 가공 시 형상의 안전과 기준점을 잡기 위한 것으로 가공 방식에 따라 그 크기를 달리 할 수 있다. Fig. 6 (b) 는 캠(CAM) 제어 기능으로 공구가 지나가는 길(노란선)을 나타내고 있다. 이는 곡면, 경사면 등에 공구가 정확히 제어되는지 확인하는 과정으로 황삭, 중삭, 정삭의 시뮬레이션 과정을 거쳤다. (c, d)는 캠 작업의 결과로 5축 가공된 형상을 나타내고 있으며 재료는 흑연소재 이다.

Fig. 7 은 본 연구에서 제작된 솔리드 모델링으로 5축 가공하는 과정을 나타내며, (a)의 노란색 박스는 고정된 흑연소재, (b)의 빨간 화살표는 가공중인 공구, (c)는 가공된 넙다리 무릎뼈 형상 (d)는 사용된 공구들을 나타내고 있다. 본 연구에서 넙다리무릎뼈 형상가공을 위한 캠 연산은 47분 56초, 5축 가공은 2시간 05분 55초 소요되었다. Table 2

4. 고찰

인체의 관절 표면은 정형화 되어 있지 않고 형태가 다양하기 때문에 DICOM 영상으로 획득된 자료를 바탕으로 넙다리무릎뼈 관절면을 역설계하고 5축 가공하는 방법들을 기술하였다.

5축 가공기술은 곡면과 언더컷(undercut) 디자인이 증가함에 따라 생산성 향상을 목적으로 활용되고 있는데 이러한 정밀가공을 위해서는 정확한 설계 정보 값이 있어야 한다[16]. 하지만 의료영상은 기본적으로 설계를 기반으로 만들어진 형상이 아니기에 설계 기반의 역설계 과정이 필요하다. 이러한 의료영상은 최근 3D 프린팅의 관심이 높아지면서 스테레오리소그래피 파일로 변환할 수 있는 프로그램들이 다양하게 있다[17]. 하지만 스테레오리소그래피 파일은 수치제어(numerical control: NC) 가공을 위한 정보 값이 없어 본 연구에서는 유니그래픽스 프로그램을 이용하여 넙다리무릎뼈 관절면 맞춤형 모델링을 만들게 되었다. 이는 무릎관절 인플란트 기성품을 맞춤형으로 제작하고자 하는 의도에서 시작되었으며, 개인의 맞춤형 기술이 적용되면 수술을 하는 의사나 환

자에게 치료의 경과 및 효과가 우수할 것이라는 판단 때문이다. 이러한 무릎관절 연구의 기존 사례들을 보면 Jeong 등은[4] 인공관절을 설계하는데 있어 슬관절 하중 예측은 수술과정과 수술결과가 얼마나 잘 될지 예측 할 수 있다고 주장하여 본 연구의 맞춤형 기술적용에 대한 예측을 미리 반영해 볼 수 근거를 제공 해 주었다.

또한 Jeon 등은[5] 무릎관절부에 촬영된 CT 영상으로 넙다리뼈와 정강뼈의 3차원 모델을 제작하고 무릎 인공 관절전치환술 및 결인대 이완 절개술의 유한요소 해석으로 결인대 변형량을 정량화한 사례로 본 연구와 동일한 CT 영상을 응용한 사례들을 소개하였다. Yoon 등은[3] 위팔뼈 DICOM 영상을 이용한 5축 가공기술의 융합적 연구를 통해 의료영상을 이용한 모델링 구축과 가공에 대한 가능성을 소개하여 본 연구의 모델링 변환에 대한 기초적 정보들을 제공해 주었다.

본 연구의 5축 가공에 적용된 흑연소재는 실제 인체에 삽입되는 인플란트가 아니라서 가공시간, 가공방법, 사용공구 등에 제한적이지만 형상의 다양한 굴곡 모양에 대한 가공 절삭 정보들을 참고 하고자 기술되었다. 또한 의료영상 기술 중 CT 영상은 0.5mm 볼륨 스캔 획득으로 실제 모습의 3차원 형상을 유도할 수 있지만 가상 형상이 실제 형상으로 만들기까지는 아직 많은 정밀성이 요구된다[18-20]. 그러나 앞으로 본 연구의 모델링 방법이 적용된다면 정형화 되어 있지 않은 인체의 다양한 형상에 대한 맞춤형 기술들을 시도해 볼 수 있을 것이다. 이는 가공기술의 정밀성이 백분의 일의 허용오차와 언더 컷 가공이 가능하기 때문이다. 이와 같이 본 연구에서도 넙다리무릎뼈 관절면의 가쪽과 안쪽의 관절용기(condyle)에서 언더 컷 가공기술을 적용할 수 있었다. 본 연구와 관련하여 인류의 미래 수명은 계속적으로 늘어날 것으로 예상되지만 건강한 관절이 개인의 수명과 비례할 수 없기 때문에 인공관절의 수요와 기술들에 대한 필요성은 앞으로 더욱 더 높아지리라 판단한다.

5. 결론

카드 정보가 없는 DICOM 영상과 스테레오리소그래피 모델로 점, 선, 면이 일치되는 표면 서페이스, 입체 솔리드 모델링을 만들었다. 이는 인체 역설계 기술방법으로 인체의 실질형상을 동일하게 만들 수 있어 인체 맞춤형 형상 연구에 많이 적용될 수 있으리라 본다.

REFERENCES

- [1] Y. M. Shin. (2017). 3D Printing Medical Application, *Proceedings of the Medical Society of fusion for 3D printing 2017*, 50-52.
- [2] Ferreira. A, F. Gentil & J. M. R. S. Tavares. (2014). Segmentation algorithms for ear image data towards biomechanical studies, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 17(8), 888 - 904.
DOI : <https://doi.org/10.1080/10255842.2012.723700>
- [3] J. H. Yoon, T. J. Ji, J. Yoon & H. G. Kim. (2017). A Convergence Study on the 5-axis Machining Technology using the DICOM Image of the Humerus Bone, *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(11), 115-121.
DOI : <http://www.riss.kr/link?id=A103842954>
- [4] I. H. Jeong & S. B. Koo. (2013). Human body internal / external load analysis using human body musculoskeletal simulation, *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 53(8), 34-37.
- [5] I. S. Jeon, J. Y. Bae & D. S, Kwak. (2013). Quantification of lateral ligament major deformation by lateral ligament incision in total knee arthroplasty, *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 53(8), 38-42.
- [6] Y. Choi & J. P. Park. (1999). Reverse Engineering System Based on 3D Digitizer, *Journal of the Korea Society of Precision Engineering*, 16(4), 102-109.
DOI : <http://www.riss.kr/link?id=A76289919>
- [7] G. H. Kwak & S. W. Park. (2013). Globale 3D printer industrie Technologie Trend analyse, *Journal of the KSME*, 53(10), 58-64.
- [8] <http://pharos101.blog.me/220054019338>
- [9] H. Y. Kwak & J. S. Huh. (2014). Extract and Analysis System for CT/MRI Images, *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, 19(1), 131-140.
DOI : <http://www.riss.kr/link?id=A101701550>
- [10] <https://en.wikipedia.org/wiki/DICOM>
- [11] J. W. Choi & H. C. Kim. (2016). 3D Printing Technologies - A Review, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 14(3), 1-8.
DOI : <http://www.riss.kr/link?id=A100566416>
- [12] B. S. Go. (2017). Clinical Application of Three-Dimensional Printing Technology in Breast Surgery, *Proceedings of the Medical Society of fusion for 3D printing 2017*, 24-25.
- [13] H. G. Kim. (2017). A Novel Modeling Method for Manufacturing Hearing Aid Using 3D Medical Images,

Journal of Radiological Science and Technology, 39(2), 259-264.

DOI : <https://doi.org/10.17946/jrst.2016.39.2.15>

- [14] <http://www.kcons.or.kr/CmsHome/MainDefault.aspx>.
- [15] <https://en.wikipedia.org/wiki/IGES>
- [16] N. H. Kim (2012). Selection of the Optimal Machining Condition for a High-hardness Resin using the 5-axis Machine, *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 11(5), 29-34.
DOI : <http://www.riss.kr/link?id=A100404939>
- [17] B. Sanghera, S. Naique & Y. Papaharilaou. (2001). Preliminary study of rapid prototypes models, *Rapid prototyping Journal*, 7(5), 275-284.
DOI : <https://doi.org/10.1108/13552540110410486>
- [18] G. H. Kwak & S. W. Park. (2013). Globale 3D printer industrie Technologie Trend analyse, *Journal of the KSME*, 53(10), 58-64.
- [19] K. B. Kim & E. H. Goo. (2016). Image Evaluation for A Kind of Patient Fixing Pad in 64 Multi-Channel Detector Computed Tomography, *Journal of the Korea Convergence Society*, 7(1), 89-95.
DOI : <https://doi.org/10.15207/jkcs.2016.7.1.089>
- [20] J. Y. Jeong, P. K. Kim, H. J. Lee & C. S. Shin. (2013). Introduction and research trend of human musculoskeletal model, *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 53(8), 28-33.

윤 재 호(Jae-Ho Yoon)

[정회원]



- 2015년 10월 : 국립금오공과대학교 (명예 공학박사)
- 2012년 10월 : 기능한국인 선정
- 2016년 8월 : 대한민국 명장 선정 (컴퓨터 응용가공)
- 관심분야 : 정밀가공

· E-Mail : 80cg2627@hanmail.net

김 형 균(Hyeong-Gyun Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 국립금오공과 대학교 지능기계공학과(공학석사, 공학박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 극동대학교 방사선학과 교수
- 관심분야 : 방사선영상, 3D 프린터, 응용 모델링

· E-Mail : jung7818@hanmail.net