

## 인공 고관절 설계 및 수술

글\_전용태<sup>1</sup>, 최귀원<sup>2</sup> <sup>1</sup>세종대학교 기계공학과, <sup>2</sup>KIST 의학연구원센터 | <sup>1</sup>ytjun@sejong.ac.kr, <sup>2</sup>choi@kist.re.kr

### 1. 개요

인공 고관절 전치환술(Total Hip Replacement; THR)은 외상, 질병, 노화 등으로 고관절이 변형되거나 관절내 연골이 닳아서 관절 기능을 전혀 못하는 경우에 인공 고관절을 대치시켜 관절의 기능을 회복시켜 주는 시술이다 (그림 1). 현재의 인공관절은 일반 기성복과 같이 임상에 적용되는 다양한 인공관절 중에서 적절한 형상의 관절을 선택하여 시술하고 있으므로

종종 시술 후 부작용이 발생하든지 아니면 짧은 주기 안에 재수술을 해야 될 경우도 발생되고 있다. 따라서 영상처리기술, 형상모델링기술, 정적/동적거동 해석기술, 그래픽기술 등을 이용하여 환자의 신체 골격에 맞는 인공관절 설계기술 개발이 요구된다.

지금까지 인공관절은 전량 수입에 의존하여 왔다. 인공고관절의 경우 지금까지 수입품이 1세트에 약 400~450만원에 이르러 인공고관절의 연간 수입액만으로도 4백억원에 달하고 있다. 이와 같이 인공관절 생산기술은 각 나라의 중점 기술이라서 외국의 기술 보호가 견고하여 기술 도입이 거의 불가능한 것으로 알려져 있다.

국내의 여러 대학과 기업에서 인공관절 개발이 시도 되어, 인공고관절 구조분석을 통해 축적해온 한국인의 고관절 자료를 근간으로 한국형 모델을 설계 하였으며, 관절질환이 있는 고관절을 인공관절로 치환하기 위해 대퇴골에 인공관절을 삽입할 공간을 가공하는 미니 로봇과 이를 이용한 수술법을 발표하기도 하였다. 의료영상 처리를 위한 벤처기업 등이 많이 설립되어 영상처리 분야 연구를 활발히 진행하고 있다. 해외의 인공관절에 대한 연구기관으로는 UCLA, Leeds 대학, Cornell 대학, Zimmer사 등이 있다. 그 중 에서 대표적인 기관으로 뉴욕에 1863년에 설립된 HSS (Hospital of Special Surgery)가 있는데 정형외과(ortho-

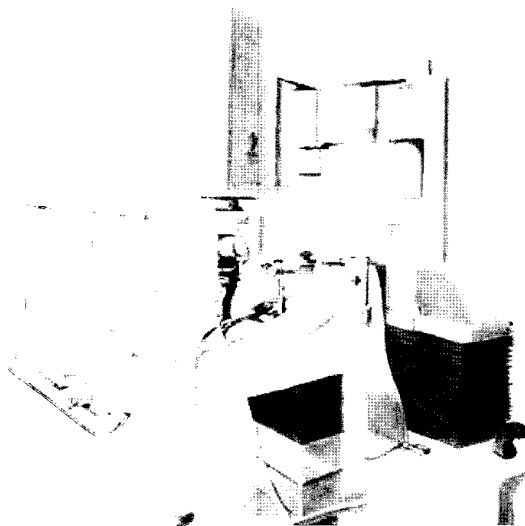


그림 1. 인공고관절 치환수술 (THR)

pedics)와 류머티즘 (rheumatology) 등에 대한 연구수준과 수술기술이 탁월한 기관으로 알려져 있다. 실제적으로 HSS에서 관절 질환에 대한 치료와 인공관절 전치시술에 많은 노하우를 축적한 기관으로 현재 맞춤형 인공관절에 대한 연구를 진행 중에 있다.

## 2. 인공 고관절 수술

### 2.1 고관절의 구조 및 관련 질환

고관절이란 골반골과 대퇴골을 연결시켜 주는 관절로서 엉덩이뼈 관절이라고도 하며, 보행등 자유롭게 운동할 수 있도록 하는 관절로 소켓모양의 골반골 비구와 볼 모양의 대퇴골 골두로 구성되어 있다 (그림 2). 해부학적으로 보면 다리 쪽 부분인 대퇴골두는 구형의 형태를 가지고 있고 골반 뼈 부분은 여기에 맞게 컵 모양의 움푹한 모양을 취하고 있다. 또 양측 골 표면에는 연골이라고 하는 것으로 싸여 있어 관절운동을 원활하게 하고, 체중으로 인한 충격을 흡수해 준다.

고관절은 보행할 때 체중의 3 ~ 5배까지 힘이 가해지고 뒹 때는 체중의 10배까지도 힘이 작용하기 때문에 골절, 대퇴골두 무혈성 괴사, 퇴행성 관절염 등 관절질환이 흔히 발생하는 부위이다 (그림 3). 고관절 골절은 젊은 나이에는 주로 사고 (교통사고, 추락사고)

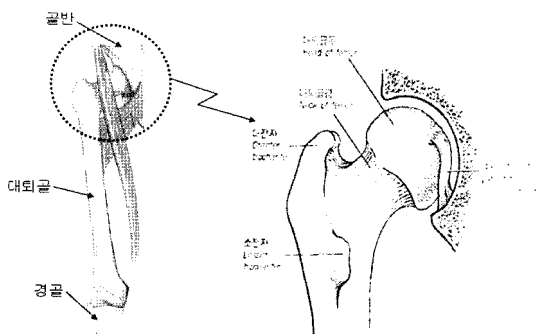
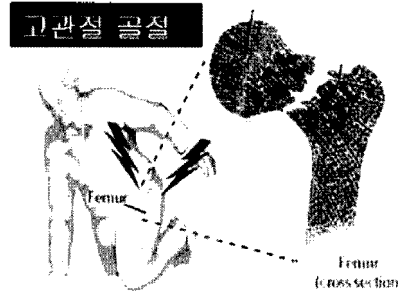
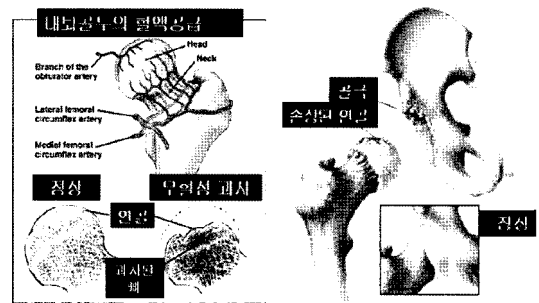


그림 2. 고관절의 해부학적 구조



(a) 골절



(b) 대퇴골두 무혈성 괴사와 퇴행성 관절염

그림 3. 고관절 질환

로 발생되며, 중년 이후 노년층에서는 주로 골다공증으로 뼈가 약해져 가벼운 충격으로도 발생된다. 대퇴골두 무혈성 괴사는 외상, 장기간의 음주, 스테로이드의 과다 복용 등으로 발생하는데 대퇴골두로 가는 혈액순환이 장애를 받게 되어 대퇴골두가 괴사되는 질환이다. 퇴행성 관절염은 교통사고나 낙상 등의 외상, 고관절 이형성증, 결핵성 관절염, 어려서 앓은 화농성 관절염 등이 주 원인으로 연골이 손상되어 다리를 절거나 통증을 느끼게 된다.

### 2.2 인공 고관절 전치환술

인공 고관절 전치환술은 상기 관절질환 등으로 고관절이 변형되거나 관절내 연골이 닳아서 관절이 기능을 못하는 경우에 인공으로 만든 대체물인 인공 고

관절을 사용하여 관절의 기능을 회복시켜 주는 수술이다. 즉, 그림 4와 같이 병든 관절의 소켓과 대퇴골두 부위를 잘라내고, 골반골에 인공 비구컵으로, 대퇴골은 대퇴부 부품으로 바꾸어 준다. 현재의 고관절 전치환술의 순서는 대체적으로 아래와 같은 순서를 따른다.

### STEP 1: 대퇴골두 절개

인공관절로 대체시키기 위하여 대퇴골두를 골반구로부터 탈골시키며, 탈골된 대퇴골의 femoral neck 부분을 절단하여 대퇴골두를 제거한다.

### STEP 2: 골반구 리밍작업

대퇴골두를 절단한 후, 특수 리머와 드릴을 이용하여 골반구로부터 연골을 제거하고, 인공 고관절의 비구컵이 정확하게 삽입되도록 골반골을 가공한다.

### STEP 3: 비구컵 삽입

환자 대퇴골두의 실제 크기로부터 비구컵의 크기를 결정한 뒤, 비구컵을 삽입한다. 무시멘트형 인공 고관절 치환술의 경우, 스크류를 사용하여 비구컵을 골반구에 고정되도록 물리적으로 고정하며 시멘트형인 경우에는 특수한 에폭시 시멘트를 이용하여 뼈와 비구컵을 고정한다.

### STEP 4: 대퇴골 홀 만들기 위한 드릴링 작업

대퇴골을 인공 고관절로 교체하기 위해 우선적으로 브로우칭 (broaching) 작업을 통하여 금속 스템이 들어갈 정확한 모양의 구멍을 판다.

### STEP 5: 인공 고관절 삽입

사이즈와 모양이 만족되면, 인공고관절의 스템부분을 인공적으로 만든 대퇴골의 홀에 삽입한다. 무시멘트형 인공고관절의 경우에는 홀에 타이트하게 삽입하

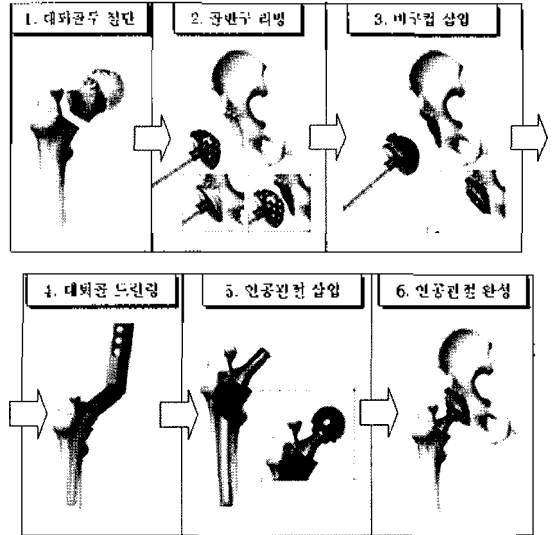


그림 4. 인공고관절 전치환술 (THR)

여 초기 고정하고, 시멘트형 인공고관절의 경우에는 에폭시 시멘트를 이용하여 고정한다.

## 3. 인공 고관절 설계

### 3.1 현재의 인공관절 선정과정

현재, 집도의사는 환자 수술부위를 촬영한 몇 장의 2차원 X-ray 필름을 이용하여 환자 골격의 형상을 파악한 후 규격화된 상용 인공관절 중에서 가장 잘 맞을 것 같은 인공관절을 선택하여 수술을 시행한다. 그러나, 인공관절을 선택하는 기준이 주로 그 동안의 수술경험과 의사의 눈과 수작업에 의한 계측에 주로 의존하게 되므로 선택된 인공관절의 크기와 형태가 환자에게 가장 적절한 것인지의 논란의 여지가 있을 수 있다. 또한 현재 국내 필드에서 사용되고 있는 인공관절은 전량 수입된 외국산이기 때문에 한국인 환자의 골격 형상에 잘 맞지 않는 경우가 발생하기도 한다. 또한, 환자 관절의 형상이 보통 사람들의 체형과

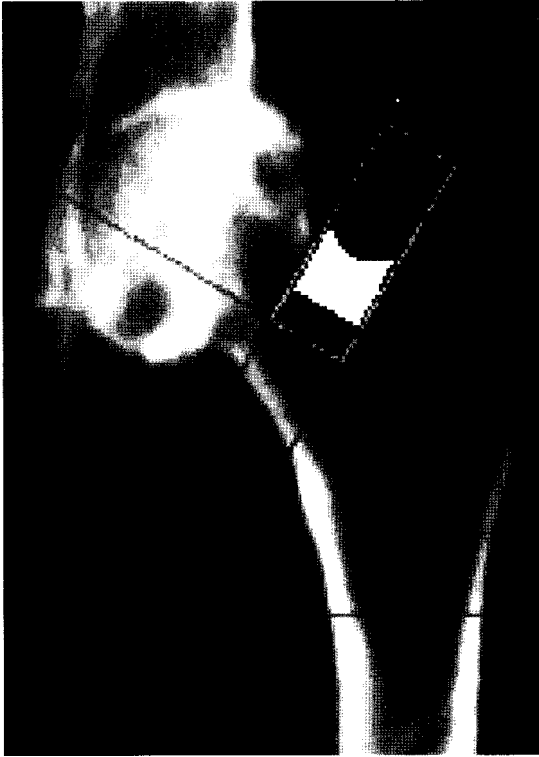


그림 5. 인공고관절 선정을 위한 계측

상이한 기형 환자인 경우에는 규격화된 상용 인공관절 중에서 선택하기가 거의 불가능한 경우도 생길 수 있다. 이와 같이 환자 개개인의 자세한 관절 형태가 충분히 반영되지 않고 단지 규격화된 인공관절 중에서 선택되어 사용되면 수술 부작용에 의하여 재수술을 받는 주기가 아주 짧아지며 수술 후 다시 걸을 수 있는 수술회복 기간도 맞춤형 인공관절을 사용하는 것 보다 훨씬 길어질 수 있다.

### 3.2 환자의 3차원 골격 형상이 고려된 인공관절

환자의 골격 형상을 반영한 인공고관절을 설계하기 위한 방법은 다음과 같다. 먼저 환자 관절을 CT (Computer Tomography) 촬영 후, 3차원 의료영상 소프트

웨어를 이용하여 관절의 3차원 폴리곤(polygon) 모델을 생성한다. 생성된 폴리곤 모델로부터 관절의 주요 3차원 형상 파라미터 값들을 추출한다. 추출한 환자 관절의 형상 파라미터로부터 해당 환자의 관절에 잘 맞을 수 있는 인공관절의 3차원 파라미터들을 다시 추출하게 된다. 이와 같이 추출된 인공 관절의 파라미터 정보를 이용하면 환자의 골격에 잘 들어맞는 맞춤형 인공관절의 형상과 크기를 설계할 수 있을 것이다.

### 3.3 인체 고관절과 상용 인공 고관절의 주요 형상 파라미터

인체관절과 대응되는 인공관절을 설계하기 위해서는 인체 고관절 내강(內腔)의 형상(중심선의 프로파일, 내강을 따른 지름 크기의 변화 등)과 내강에 삽입될 인공 고관절 외부형상 사이의 관계식을 정립해야 한다. 인체 고관절과 인공관절 사이의 관계식이 구해지면 이를 통하여 임의 환자의 관절 형상이 적극 반영된 맞춤형 인공관절 형상을 구할 수 있게 된다. 아래 그림 6은 인체 관절과 인공관절의 형상파라미터를 대응한 결과를 보여준다. 이와 같은 형상 파라미터는 인공관절 설계 시스템에서 자동으로 추출되어야 한다.

인체 고관절의 주요 형상 파라미터로는 골 내강의 형상, 깊이, 목 부분의 곡률 반경, 골두에서 대전자(trochanter)에 위치하는 중심까지의 길이, 대퇴골두의 지름 및 위치 등이 있다. 여러 가지 파라미터 중 가장 중요한 인공 고관절 파라미터로 스템의 형상, 스템의 길이를 정해주는 골내강의 형상 정보, 스템과 목부분의 곡률 반경, 그리고 목 부분의 길이를 정해주는 대퇴골경의 길이 등이 있다 (그림 7).

아래 항목은 선정된 인체관절의 주요 형상 파라미터의 예를 보여준다.

#### A) 스템(Stem) 형상

스스템의 형상 정보는 중요한 파라미터 중 하나로서

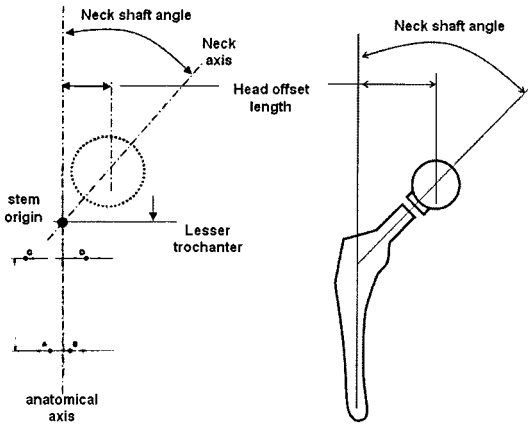


그림 6. 인체관절과 인공고관절의 주요 형상 파라미터

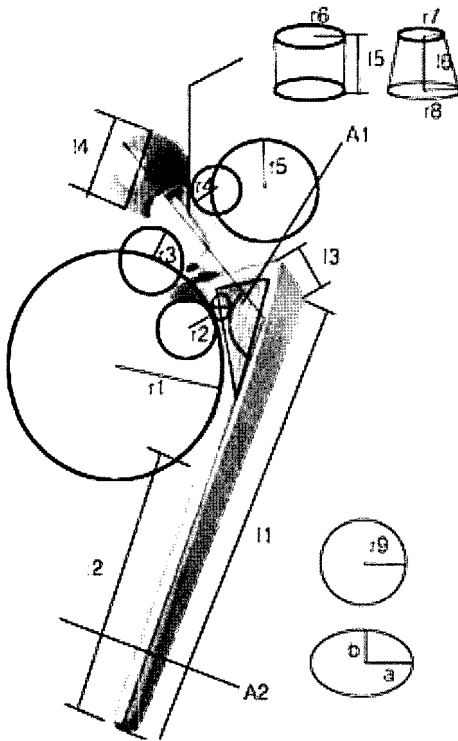


그림 7. 주요 형상 파라미터의 단순화

스텝의 세부 형상정보로는 골내경의 깊이와 지름 등의 형상과 중심축의 방향 등이 있다.

**B) 골내강 깊이와 중심축**

환자마다 다른 뼈의 크기로 인하여 스텝의 길이도 달라져야 하므로 스텝의 길이도 중요한 파라미터이다. 전치환술 이후에 다리 길이에도 영향을 미치므로 중요하며, 선천적 기형이나 후천적 기형을 보정하기 위해서도 중요한 파라미터가 된다.

**C) 목(Neck)부위 형상**

인체 골두와 이어지는 목 부위의 길이와 형상은 운동 시에 큰 영향을 미치게 되므로 아주 중요하다. 이 부분의 형상 파라미터의 측정은 대퇴골의 중심부터 대퇴골경의 중심축과 대퇴골체의 중심축이 만나는 점까지의 길이로 얻을 수 있다.

**D) 스텝 곡률 반경과 골내강 중심축**

대퇴골체와 다리 무릎아래의 중심축과의 각은 아시아 사람들의 표준은 4~5°이다. 이 각을 결정하는 것이 스텝과 목 부위와의 곡률 반경이다. 이 부위는 전치환술 시술 후에 회복과정에서 중요한 영향을 미친다. 이 부위의 형상 정보를 얻을 시에는 동시에 대퇴골체의 중심축을 구해야 한다. 정확한 중심축에 들어갈수록 환자의 회복이 좋고 후에 부분적으로 인공관절이 크게 마모되거나 변형되는 것을 막아준다.

**4. 인공관절 치환술 관련 CAD/CAM 기술**

**4.1 인공 고관절 해석기술**

상기 3 절을 통하여 형태와 크기가 결정된 patient-specific 인공관절 모델이 인체 체중을 견디면서 다양한 운동성을 가질 수 있는지 여부를 검증하기 위하여 응력해석과 동적 거동해석 기술을 설계된 인공관절에

적용시켜야 한다 (그림 8과 9). 이를 통하여 3차원 인체 대퇴골 모델과 인공관절 모델을 모두 유한요소해석 시스템에 적용하여 다양한 문제를 평가해볼 수 있으며, 그 결과를 이용하여 많은 설계 가능성 중 실험이나 의료기술에 적합한 경우를 찾는 데 도움을 받을 수 있다. 또한 사체에서 얻어낸 대퇴골에 의한 실험은 환자의 질환, 인종, 나이 등의 영향을 받을 수 있으나 유한요소해석은 일반성을 유지할 수 있고 환자의 특수한 실제생활의 하중조건에 대한 임상적인 결과를 얻을 수도 있다. 또한, CT에서 추출한 인공관절의 형상정보는 실제 해석에 이용할 수 있는 CAD 데이터가 아닌 단순 렌더링 정보만 가지고 있는 STL과 VRML양식으로만 저장이 가능하므로 실제 해석 시에는 자료구조를 변환해야 한다. 따라서 이와 같은 인공관절의 다양한 해석을 지원하기 위하여 인공관절 모델의 폴리곤 자동 변환 알고리즘 등이 필요하다.

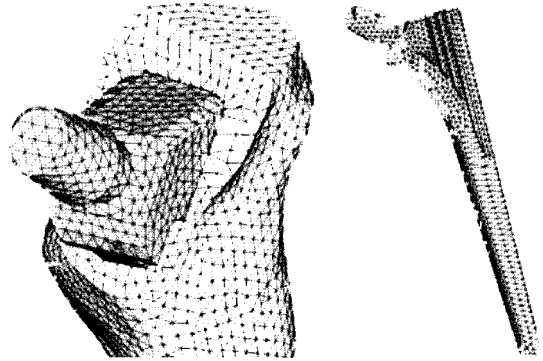


그림 8. 인공고관절 스템의 유한요소 모델

#### 4.2 수술 시뮬레이션 기술

인공관절 설계 시스템은 인공관절을 설계하는 동시에 추가적으로 인체 고관절을 절단하고 그 안에 인공관절을 실제와 같이 삽입해보는 시뮬레이션 기능 탑재가 요구된다. 설계된 인공관절을 인체관절 내부에 삽입해보는 기능을 위한 시뮬레이션 알고리즘의 한 예는 다음과 같다. 먼저 인체관절의 대퇴 골두를 절단하기 위하여 사용자로 하여금 절단면을 지정하게 한 후, 절단면과 삼각형으로 구성된 고관절 폴리곤 데이터와의 교차여부를 구한다. 만일 교차점이 있으면, 고관절에서의 삼각형을 삭제리스트에 추가하고, 만약 교차점이 없으면, 고관절의 데이터 중에서 남아있는 삼각형이 있는지를 검사한다. 남아 있는 삼각형이 있으면 계속 절단면과의 교차여부를 검사하고, 모든 삼각형에 대해 교차여부를 검사하였으면 고관절 데이터에서 삭제리스트에 있는 삼각형을 없앤다. 이러한 과정을 거쳐서 절단 시뮬레이션 작업이 완료된다. 이와

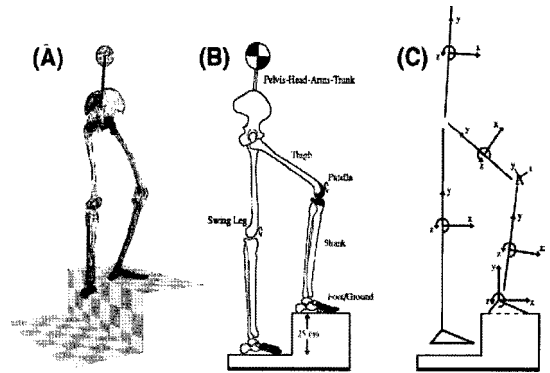


그림 9. 인공고관절 동적거동 해석

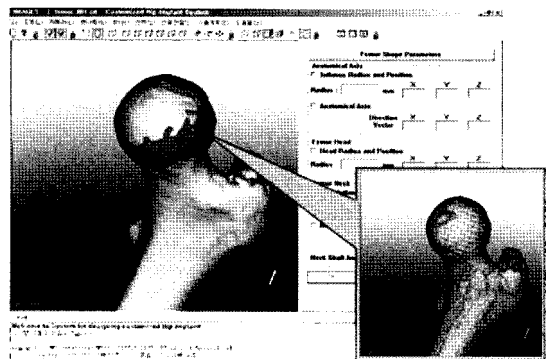


그림 10. 수술시뮬레이션

같은 수술 시뮬레이션 기능을 완성하기 위해서는 다양한 종류의 폴리곤 편집기능 (polygon-based modeling)이 필수적이다 (그림 10). 수술 시뮬레이션 기술은 다음에 소개될 영상유도 수술과 연관이 깊다.

### 4.3 영상유도 수술 (Image-Guided Surgery)

- 영상유도수술이란 항법장치(navigation)를 사용하여, 수술 전 획득한 CT/MRI 등의 영상 혹은 수술 중 획득한 X-ray 영상을 이용하고,
  - 환자의 수술 부위 및 수술 도구의 3차원 위치를 실시간으로 추적하여
  - 컴퓨터상의 인체 내부 영상에 수술 도구 및 인공 관절의 위치를 정합, 재구성함으로써
  - 보이지 않는 인체 내부의 병소의 위치와 수술 도구의 상대적 위치를 실시간으로 확인하면서 수술할 수 있도록 하는
- 컴퓨터 기반의 첨단수술기법을 일컫는다.  
영상유도 수술장치의 작동원리는 아래와 같다. 그

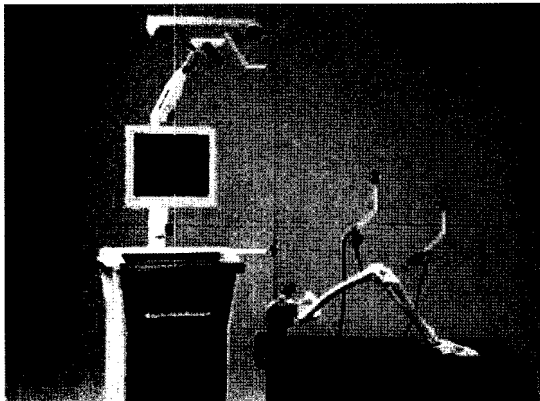


그림 11. 영상유도수술

림 11과 같이 두 개의 적외선 카메라에서 적외선을 발산하면 환자의 관절 뼈에 부착된 표식자에서 적외

선을 카메라에 반사시켜 컴퓨터의 소프트웨어가 3차원 형태로 환자 관절에 대한 이미지를 생성하게 된다. 이렇게 생성된 이미지를 이용하여 각 손상된 관절 부위의 절단 두께와 각도, 힘줄의 균형, 인공관절의 크기를 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 얻게 된다. 이후 항법장치를 이용하여 컴퓨터 소프트웨어에서 계획하고 안내하는 대로 손상된 관절에 대한 수술을 진행하게 된다. 다시 말하면 광학 위치 추적장치, 적외선 카메라 등을 이용, 환자의 관절뼈에 3차원 위치 센서를 부착하여 다듬어야 할 뼈의 각도와 간격을 측정한다. 또한 대퇴골과 무릎, 발목관절의 중심 위치를 등록하여 인공관절과의 기계적 축(대퇴골과 무릎, 발목 관절의 평행각도)을 맞추고, 내외 회전각도를 적절히 판단하여, 인대와의 밸런스를 최상의 상태를 유지시킨다. 이는 정확한 하지 축의 정렬과 인대의 밸런스를 정확히 맞추어 수술 후의 통증을 줄이고 관절의 운동범위를 늘리며 인공관절의 수명을 늘려 수술의 만족도를 높이고자 하는 것이다. 미국, 유럽 등 해외에서 많이 사용하며 인공관절 수술의 정확도와 신뢰성을 높여가고 있다. 영상유도 수술시스템을 도입하면 아래와 같은 장점을 얻을 수 있다.

- 수술의 정확도 향상
- 수술의 정확도를 확인하며 수술 가능
- 수술과정을 컴퓨터에 저장하여 이후 치료에 활용 가능
- 치료만족도 향상 및 인공관절 수명 연장

### 5. 결 언

본 원고를 통하여 필자는 인공고관절 전치환술에 대한 개요와 인공관절 선정 과정에 대하여 소개하였으며 아울러 인공관절 치환술에 응용되고 있는 관련 CAD/CAM 기술에 대하여 간략히 언급하였다. 성공적인 인공관절 치환수술을 위해서는 생체재료 분야와 마모 (tribology) 분야 등 수 많은 분야들의 긴밀한 협조가 필수적이라 할 수 있다.

### 참고문헌

1. 박윤수, 문영완, “고관절 및 슬관절 질환의 예방과 치료,” 조선일보사 · 삼성서울병원 공동 건강교실, 2005.
2. 김희중, “관절염의 최신 수술 경향: 고관절,” 류마티스 건강학회지, Vol. 7, No. 2, pp. 367-368, 2000.
3. [www.ablesw.com/3d-doctor/3dhome.html](http://www.ablesw.com/3d-doctor/3dhome.html)
4. [www.medmedia.com](http://www.medmedia.com)
5. [www.endotek.com](http://www.endotek.com)
6. [www.ablesw.com/3d-doctor/3dhome.html](http://www.ablesw.com/3d-doctor/3dhome.html)
7. [www.biotech-medical.com/prodframe.htm](http://www.biotech-medical.com/prodframe.htm)
8. [www.otisbiotech.com/index.htm](http://www.otisbiotech.com/index.htm)
9. Michael W., Elyazid M., Jean-Noel A., Pascal J. R., Jean-Manuel A., and Pierre-Francois L., “Three-dimensional Computed Cementless Custom Femoral Stem in Young Patients,” *Clinical Orthopaedics and Related Research*, No. 437, pp. 169-175, 2005.
10. Choi, K. W., “Joint Prostheses and Engineering Technology,” *Korean Society of Precision Engineering*, pp. 17-24, 2000.
11. 허원창, “영상유도 항범수술의 동향과 미래”, 한국 CAD/CAM 학회지, Vol. 11, No. 1, pp. 24-29, 2005