

## 한국형 인공고관절 개발

염영일  
의공학 및 재활공학 연구실  
포항공과대학

### Development of Artificial Hip Joint for Korean

Youngil Youm  
Biomechanics and Rehabilitation Engineering Laboratory  
Pohang Institute of Science and Technology

#### I. 서론

의공학은 세계적으로 최근 20년동안 급격한 발전을 이루어온 기술 집약적인 첨단공학으로 인체의 장기 및 관절의 대체 보완, 작업의 안전 및 방법의 개선, 발병의 예방 및 기기의 개발이 많은 관심속에서 연구되어 왔다. 경제의 발전, 인구구성의 노령화, 치병내용의 변화등으로 인간의 보다 나은 삶에 대한 욕구는 이 분야를 절대적으로 요구하고 있다. 산업적인 측면에서도 미국의 경우, 전의료비가 1983년 3620억불로 전체 GNP의 10.4%를 차지하고 있으며(1983년 통계), 가까운 일본에서는 1989년 추계로 의료비가 24-29조엔으로 GNP의 7-11%에 이르고 있다. 이와 같은 의료비의 지출증가는 이와 관련된 의료기산업의 발전을 필요로 하게 되었다. 미국의 경우, 85년 의료기 생산총액은 162억불이었고, 일본의 경우, 의료기산업의 규모는 1조엔을 넘어서고 있으며, 연간 증가율을 25% 수준으로 보고 있다. 우리나라에서도 경제의 발전과 더불어 의료기산업이 고도화의 당위성이 80년대 들어 인정이 되었으며, 100만명에 달하는 신체장애자의 자립을 위한 각종 보조기기 및 기구의 개발에 의한 이동성 부여, 시, 청각 기능의 회복등에 의한 장애자의 실질적인 복지향상이 필요로 하고 있다. 보사부한 관계자는 정확한 통계의 제시는 어려우나 병원의 신설을 고려하지 않는 상태에서 20-30% 의료기기에 대한 수요 증가율을 보이고 있다고 한다. 그러나, 실제 국내의 의료기 산업의 특징은 단순기기 생산에 의한 저부가가치 제품이 중심을 이루고 있으며, 고부가가치의 제품인 방사선장치, 의료용 전기장치, 진단장치, 인공신장용 분석 여과기, 정형기구, 인조신체부분, 골절치료구 및 교정기구 등은 수입에 의존하고 있으며 수입액은 86년 기준 1억 9천만불, 87년 기준 2억 5천만 불이었고 수요의 연간증가율이 매년 20-30% 이상이므로 이의 수입대체는 시급하다고 할 수 있다. 그러나, 실제 국내의 의료기산업 기반은 취약하여 대기업은 5개 업체에 불과하며 40명 미만의 중소기업체가 150개 이상 존재하고 있다. 국내의 의료기업체는 90년도 내수시장 약 2천 5백억원을 놓고 치열한 경쟁을 하고 있으나, 선진국 의료기업체와 비교시 상대적으로 취약한 경쟁력을 가지고 있으며, 고부가가치의 의료기는 수입에 의존하고 있어 고부가가치 의료기산업의 국산화가 시급히 요청된다. 의료기

산업은 자원이 부족한 우리나라의 실정에 적합한 다품종, 소량 생산의 고부가가치 산업이다. 또한 지난 20여년에 걸친 국내산업의 발달은 이러한 고부가가치 의료기산업의 국산화가 가능한 시점에 와 있다. 그러므로 미국의 GE, 네델란드의 Phillips등의 세계적인 대기업에서는 고수익을 획득하고 있고, 의료기 세계시장이 90년도 약 300억불(선진국시장)에서 2000년도에는 약 1000억불의 시장이 예측되고 있으므로, 이 분야에 대한 연구 및 개발은 당연하며, 장기적으로는 세계시장으로 수출 또한 가능하며, 절실히 필요로 하고 있다.

지난 수년간의 국내 생체공학과 관련된 연구결과에서도 KAIST의 조장희 박사팀이 NMR CT를 개발한 것을 금성통신에서 생산하고 있고, 서울대 의공학 연구실의 민병구 박사팀이 개발하고 있는 인공심장의 동물실험, 서울대 의대의 김 영민 박사팀의 인공고관절(Artificial Hip Joint)의 개발 및 임상적 응용을 실시하고 있어 생체공학과 대한 연구가 확산되어 가고 있다. 금성, 삼성, 두산 등의 대기업이 의료기산업에 참여하는 등 생체공학과 관련된 산업체의 발전이 일부 이루어졌다. 연세대, 건국대, 인제대 등에서는 학부과정에 의공학과를 설치하여 이 분야의 발전을 위해 노력하고 있다. 그 외에도 각 국립대학 부설병원에는 의공학연구실이 설치되어 운영되고 있는 것으로 알고 있다. 한편, 정부에서도 의료, 환경분야에 대한 지원의 필요성을 절실히 느끼고 있으며, 장기적인 관점에서의 연구 지원을 계획하여 발표한 바 있다.

본 고에서는 포항공대-산업과학기술연구소의 의공학연구실에서 현재 진행되고 있는 한국형 인공고관절 개발에 관해 논해보고자 한다.

#### II. 인공고관절 개발

요즈음 인간의 고관절 성형술은 성인 고관절 질환의 확고한 치료방법으로 정립되고 있다. 1938년 Willis에 의해 처음 시도된 이후 1950년대 후반에 Charnley, Mckee등에 의해 발전되어 1970년 이래 우리나라에서도 고관절의 질환으로 인한 동통 제거, 관절의 안정성 유지, 운동범위의 향진에 좋은 결과를 얻고 있다.

인체의 여러 관절중에서 상체와 하체를 연결하는 고관절(Hip Joint)은 사람의 활동에서 매우 중요한 이동기능(Mobility)을 담당한다. 인공고관절(Artificial Hip Joint)은 인공관절중에서 가장 먼저 개발되어 현재 세계적으로 약 40만건 이상의 수술이 수행되어 가장 많이 사용되고 있는 것으로 다른 인공관절에 비해 비교적 성공적이며 또한 다른 관절에 비하여 수술빈도가 높아 성능과 품질의 향상에 여전히 가장 많은 연구가 진행되고 있다. 외공제품은 고부가가치 품목이다. 인공고관절의 경우 1kg내의 합금강과 고밀도 폴리에틸렌(High Density Polyethylene)으로 구성된 수입품은 현재 300만원 이상으로 89년 현재 약 4,000 - 5,000 개 정도 시술이 될 것으로 사료되며, 이는 약 135억원 상당의 외화를 지출하게 된다. 경제적인 문제로 많은 시술대상이 시술을 받지 못하고 있으나 국민소득의 증가 인공물질의 재내이식에 대한 국민의식의 재고를 감안한다면 국내개발의 필요성이 절실하게 요청된다. 또한 임상학적으로도 기초적인 연구없이 모방에 의한 시술은 선진국으로 가는 우리의 입장에서 지양되어야 할 것이며 국민복지의 측면에서도 시급히 연구 개발되어야 할 과제이다.

현재까지 국내에서 인공고관절의 개발을 위한 직접적인 연구로는 연세대학교 김 영후 교수팀과 서울대학교 김 영민 교수팀이 있다. 연세대학교 김영후 교수팀이 수행한 연구는 28구의 사체(Cadaver)와 40명의 환자를 대상으로 허벅지 뼈의 CT Scan 사진을 찍고 뼈의 크기를 측정하여 통계처리하고 임상학적인 기준에 의해 인공고관절의 형상설계를 시도하였으나 제작은 되지 않았다. 서울대학교 김 영민 교수팀은 위와 같은 절차에 의거 형상설계를 하여 외국에서 제작, 89년부터 임상에 적용하고 있으나 장기적인 임상결과는 시간이 필요할 것으로 판단된다. 그러나, 위의 연구에서는 관절의 운동과 힘에 관한 해석 및 응력에 관한 연구가 없고 재료나 제작 그리고 수술후 환자의 보행형태에 관한 연구가 시도되지 않았으며, Know-how의 축적이 절실히 요구되는 인공고관절 제작과정을 외국의 기술에 의존하고 있다는 단점이 지적될 수 있다. 그의 재질의 인체적합성에 관한 연구로는 서울대학교 이 한구 교수팀에서 ANS315 LVM의 철선과 철판에 대한 동물실험을 시행한 바 있으나, Titanium에 대한 연구보고는 없었고, Titanium 분말과 Debris에 의한 골변화에 관한 동물실험 및 동물용 인공관절에 대한 Press-fit의 연구는 외국문헌 보고에도 흔하지 않다.

88년 현재 우리나라에서 정형외과용 외공제품의 수요는 표 1와 같다.

포항공대-산기연 외공학연구소는 국산화를 위한 단계적 연구수진체계를 표 2와 같이 설정하고 진행중이다.

#### 가. 인체측정 및 설계

미국, 유럽 및 일본 등지에서는 각 나라에 맞는 고유의 인공관절의 형을 가지고 있는 반면 우리나라에서 사용되는 기구들은 서구인의 골 모형에 의거한 것으로 한국인에 대한 골 구조의 특성과 크기에 대한 충분한 근거가 부족한 실정이다.

특히 동양인은 습관상 바닥에 좌우하는 것이 주거방식으로 이 경우에 고관절의 충분한 굴곡과 회전을 요한다. 이러한 필요성에

로 인하여 한국인 대퇴골의 해부학적 구조에 맞는 대퇴경의 개발이 중요하며, 그것을 위해서는 한국 성인의 대퇴골 근위부에 대한 해부학적 고찰이 요구되고 있다.

#### 7. 실험방법

한국 성인의 대퇴골의 형태학적 고찰을 위하여 영남의대 정형외과와 공동으로 영남대학교 의과대학 정형외과에 보관중인 한국인 사체 10구에서 20개의 대퇴골을 적출하여 먼저 영남의대 정형외과에서 외부의 형태학적 측정을 하였다. 골수강의 내부의 형상을 측정함으로써 stem 의 형상을 설계할 수 있다는 점에서 3차원 재구성법에 의해 평균치에 가까운 대퇴골을 선정하여 골수강의 형상을 측정하였다. 골수강의 단면형상을 제공할 수 있는 방법은 단층촬영기에 의한 방법과 비교적 단순한 방법인 Casting and Slicing 방법을 생각할 수 있다. 본 연구에서는 두가지 방법을 이용하여 단면의 형상을 computer에 입력하였으나, 여기에 기술된 연구결과는 Casting and Slicing에 의한 것으로 Computer Simulation에 의한 3차원 형상 재구성을 하였고, 재구성된 형상으로부터 대퇴골 외부와 특히 골수강의 모형에 따라 단면적, 최소 안지름, 단면의 2차 모멘트를 계산하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 대퇴골 최대길이는 평균이 남자 42.58 +/- 1.43 cm, 여자 38.79 +/- 2.15 cm 였다.
- 2) 대퇴골 전연각은 평균 15.8 +/- 9.21도 였다.
- 3) 대퇴골 전면에 관한 측정에서는 최대 만곡점이 42.05 +/- 5.54 x, 상대적 만곡도는 3.72 +/- 1.21x 로써 만곡점은 타인족에 비해 상대적으로 금위부에 있었으나 만곡률은 에스키모와 인디언의 중간 정도였다.
- 4) 경각부각은 129.5 +/- 5.81 도였다.
- 5) 대퇴골 둘레 측정에서 남자는 소전자부하 12.5cm에서 8.77 +/- 0.55 cm로 가장 작았고, 여자는 15cm 에서 8.11 +/- 0.56 cm으로 가장 작았다.
- 6) 전산기를 이용한 3차원 영상 재구성의 결과,
  - a. 내외측 직경 측정 외측의 좌우직경은 소전자부하 15cm 에서 2.47cm로 가장 작았고 전후직경은 5cm에서 2.40cm로 가장 작았다. 내측직경은 좌우직경이 소전자부하 10cm에서 1.39cm으로 가장 작았고 전후 직경은 7cm에서 1.36cm으로 가장 작았다.
  - b. 둘레 골수강의 둘레는 소전자부하 15cm에서 8.22cm으로 가장 작았다.
  - c. 단면적 골수강의 단면적은 소전자부하 10cm에서 1.47cm로 가장 작았다.
  - d. 단면 2차 모멘트 I<sub>xx</sub> 값은 소전자부하 12.5cm에서 가장 작았고, 좌우측에 관한 값이 전후측보다 크게 나타났다.

인공고관절의 설계에 있어서 고려되어야 할 주요한 요소는 다음과 같다.

- 1) Hipjoint 부위의 치적각도에 따른 Instantaneous Center
- 2) Head 부분의 크기
- 3) Neck의 길이 및 각도
- 4) Stem의 단면현상
- 5) Stem의 길이
- 6) Stem의 곡선현상

## 7) Coller의 유무

위의 요소중 대부분이 골수강의 형상에 따라 설계되어야 할 요소이며 앞서 기술한 인체숙점이 중요한 설계자료가 된다.

유한 요소해석법을 이용하여 설계요소가 대퇴골에 미치는 응력 해석을 한바 그결과가 다음과 같이 요약된다.

- 1) Stem의 최하단부인 Stem Tip과 Cortical Bone의 접촉부위에 최대응력이 발생하고 있다.
- 2) Stem의 길이가 길수록 Stem Tip 부위의 Cortical Bone은 높은 응력상태가 되며, Stem부의 응력은 상대적으로 감소한다.
- 3) Elastic Modulus의 차이는 Cortical Bone의응력분포에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 해석되었으며, Stem부는 Stainless Steel 316L의 경우 Titanium과 비교시 약 10%정도 높은 최대 응력 을 보이고 있다.

## 나. 인공고관절 제조 방법

### 가. CAD/CAM에 의한 3차원 형상 가공

인공고관절의 제작방법으로는 단조, 주조, 기계가공 등이 사용되고 있으나, 가공방법에 대한 Know-how는 제작회사에 따라 다르며 잘 알려져 있지 않다. 현재, 본 연구팀에서 사용하고자 하는 방법은 기계가공과 분말야금법이 있다. 기계가공 및 분말야금법에 의해 제작된 인공고관절의 기계적 성능을 수입인공고관절과 상대비교함으로써 인체적합성과 함께 고려한 후, 시술에 적용할 예정이다. 본 연구에서는 수입인공고관절의 형상을 Sonic Digizer와 CAM 장비(CAM-3)를 이용하여 Wax Model로 가공하였다. 이 Model은 분말야금법에 사용될 Mold의 형상을 제공함과 아울러 CNC Machine에 의한 기계가공에 필요한 Data Generation에 사용될 수 있다.

### 나. 분말야금을 사용한 제조방법

또한 제작방법으로 분말 야금법을 사용하였는바 분말야금의 여러 제조법중에서도 Cold Irostatic Press(CIP)와 고무 모울드를 사용하여 복잡한 형상을 갖는 인공고관절을 생체용 합금분말로 압축성형하였다. CIP에서 사용하기 위한 고무 모울드의 제작법과 CIP에서의 압축성형형상의 여러문제점을 해결하였고 압축성형이 아주 어려운 316-L 스테인 레스강 분말을 사용하여 인공고관절의 형상을 갖는 중간형성체를 제조 하였다.  $4\text{ton}/\text{cm}^2$ 의 CIP 압력에서 압축성형된 시편은 약 88-90% 정도의 상대밀도를 갖는다. 이론밀도에 가까운 밀도를 갖는 시편을 만들어야 하지 아니면 90% 정도의 다공질 금속의 인공고관절이 더 좋은지에 대해서는 아직 문헌에서도 충분한 연구결과가 발표되지 않고 있다. 만일 이론밀도가 요구된다면 Hiping (Hot Isostatic Pressing)에 의하여 치밀화 시킬 수 있고, 다공질금속을 원한다면 현상태에서 소결만으로도 충분할 것이다.

Hipping과 Porous Coating에 대해서는 다음단계로 연구할 계획이다. Porous Coating은 적절한 Binder를 찾고 비교적 큰입자를 갖는 분말을 Coating 한 후 소결중의 확산에 의해 Stem과 분말간의 bonding이 될 것이다. 또한, 분말야금법으로 만든 생체용 합금(316L 스테인레스강과 Ti6Al4V등) 소결체의 기계적, 화학적 및 생체적 합성도 다음단계에서 연구하고자 한다.

### 다. 생체재료의 부식 및 마모현상연구

본 연구에서는 Powder Metallurgy (P/M) 공법에 의해서 제조된 생체재료의 부식성 및 부식-마모 성질을 규명하고 생체적용시 임상연구 세부과제법과 공동으로 Biocompatibility Test를 수행하는데에 연구목적이 있다. 이러한 목적을 성취하기 위한 시과 단계로서 부식-마모 시험기를 제작하였으며, 생체공학 재료로 널리 사용되는 SS 316L과 Ti-6Al-4v 재료를 이용하여 이들의 부식 및 부식-마모 거동을 전기화학적 방법으로 관찰하였다.

각 재료의 마모상태를 전기화학적 방법으로 관찰해본 결과, SS 316L은 부식 전위 거동에서 Ti-6Al-4V 에서는 나타나지 않은 최소점을 나타내는 거동을 하였으며 이는 마모의 초기단계에서 정상상태로 이어지는 전이단계로 생각된다. 동전위 분극시험에서는 Ti-6Al-4V 이 약 +1200mV까지 부동태 영역을 가짐으로서 SS 316L 보다는 훨씬 넓은부동태영역을보였으며, 이는 일반적으로Ti Alloy가 염소 이온하에서 SS 316L보다 더 안정하다는 것을 확인해 주었다.

또한 마모가 가해진 상황에서 동전위 분극시험을 하였을때 Ti-6Al-4V에서는 Anodic Current가 약10배 증가하였고 SS 316L에서는 약 50배가 증가하였다. 그러나 두재료 공히 Pitting Potential은 거의 변하지 않았으며, 이는 각 재료의 기본 Pitting 반응 기구는 거의 변하고 있지 않는 것으로 고려할 수 있다. 마모시 Hank's Solution에서는 3.5% NaCl 용액에서와는 달리 SS 316L 및 Ti-6Al-4V 의 Anodic 분극곡선에 공히 Active Reaction Region이 관찰되었으며, 이는 마모시 Hank's 용액에서 금속의 부식이 매우 빨리 진행될 것이라는 사실을 제시해준다. 부식-마모표면의 관찰에서 SS 316L의 표면에서 널리 퍼져있는 Microcrack들을 관찰할 수 있었으며 이는 반복되는 표면운동에 의한 Surface Fatigue 작용으로 표면에 박리현상을 일으킨 것으로 생각된다. 반면 Ti-6Al-4V에서는 Microcrack이 거의 관찰되지 않았다. 이와 같은 두가지 재료의 서로 다른 마모현상은 이들 두 재료의 마모기구의 차이로 생각된다.

### 라. 보행분석

본 연구는 인공고관절 개발에 필요한 기초자료와 인공고관절 대체 수술을 받은 환자의 보행특성지에 관한 기초 자료를 제공하기 위해 보행분석 시스템의 구성 및 실험에 관한 내용이다.

보행연구란 보행과정에서 인간의 하지(Lower Extremity)의 움직임과 지면반발력(Ground Reaction Force)의 변화를 기록하고, 수학적 모형을 이용하여 관절부분에 걸리는 힘과 모멘트(Moment)를 계산하며, 정상인의 보행 형태(Gait Pattern)의 특성을 파악하여 이를 여러부분에서 응용하려는 연구이다. 과거의 보행 연구에 있어서는 자료를 수집하고 관측중 발생한 오차를 수정하는데 필요한 시간상의 제약때문에 충분한 관측을 행하지 못한다는 것이 공통적인 문제점이었으나 최근 기술의 발달로 보행과 관련된 여러가지 자료를 컴퓨터를 이용하여 수집, 분석할 수 있게 됨에 따라 이러한 문제점이 해결되었다. 이 분야에 있어서 최근의 주요 관심사는 실험을 통해 얻은 방대한 양의 자료를 분석, 해석함으로써 이를 환자의 진단이나 인공관절의 제조 및 이식등 관련 의학분야에 활용하기 위한 연구들로서 구미 선진국의 경우에는 종합병원등에 설치된 보행연구실(Gait Laboratory)들을 통해 이미 많은 연구들이 이루어져 왔으며 이러한 자료들이 관련 분야에서 광범위하게 활용

되고 있다. 그러나 국내의 경우에는 이 분야에 대한 인식부족과 전문 인력의 부족으로 활발한 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이며 관련분야에서 기초자료의 부족으로 많은 문제점들이 발생하고 있다. 특히 인공 장비의 경우 개발 및 생산에 있어서 외국 자료를 이용하거나 수입품에 의존하게 되는데 한국인의 체형이나 신체적 특성을 고려하지 않은 제품을 사용함으로써 파생되는 문제점은 심각하게 재고되어야 할 것이다.

이러한 상황에서 본 연구에서는 한국인의 보행특성을 파악하여 이를 관련 의학 분야에서 활용할 수 있도록 한국인을 대상으로 한 보행 연구를 계획하고 진행중에 있다. 보행분석의 절차는 운동학적 (Kinematic) 분석, 즉 보행주기, 속도, 보조 (Cadence), 보폭, 간격 (Stride), 디딤시간 (Stance time), 스윙시간, 디딤율 (Stance-Swing Ratio), 관절운동(Joint motion)의 측정 즉 굴곡-신전각도 (Flexion-Extension Angle), 외전-내전각도 (Abduction-Adduction Angle), 내측-외측회전각도 (Medial-Lateral Rotation Angle), 그리고 지면반발력 (Ground Reaction Force), 및 모우멘트, 각 관절 모우멘트등을 분석하는 운동역학적 (Kinetic) 분석으로 구분되며 근전도 (Electromyograph)에 의한 분석은 동시에 겸하게 된다.

마. 임상연구

임상연구는 인체 적응성(Biocompatibility) 연구로 주로 의과대학에서 행하여지며 첫단계에서는 동물시험을 통한 급속의 생체적 합성 및 국소적 조직학적 변화를 관찰하며, 동물용 대퇴형을 제작하여 이에 대한 조직학적 검증을 시도하며 완성된 인공고관절을 사체에 적용하여 설계를 검토한 후 실제로 환자에게 적용함으로써 인공고관절의 우열을 판단하게 된다. 이 단계는 본 연구에서 추후로 곧 시작될 전망이다.

III. 결 어

본 연구의 목표는 우리 한국인의 인체구조에 맞는 인공고관절을 설계, 제작하고 이에 필요한 한국인의 고관절 모델을 설정하는 것이다. 개발되는 인공고관절에 요구되는 기계적 강도와 내구성을 조사하고 인체와의 Biocompatibility에 관한 문제를 검토하며 수술 후 환자의 보행형태에 관한 연구 (Gait Analysis)를 통하여 인공고관절의 설계와 수술의 결과를 검토, 분석한다.

공학의 본격적인 생체의 현상규명, 새로운 진단, 치료, 측정의 다양한 응용은 지난 30여년에 걸쳐 실시되었다. 생체의 공학적인 해석결과에 대해 인체의 현상을 비교적 간단한 모델에 의거한 해석은 문제가 있다는 비판도 있었으나, 이러한 비판에도 불구하고 다양한 인공대체가 공학적인 연구의 결과로서 일반화되었고, 임상 방법의 개선을 위한 방향을 제시하였으며, 인간과 기계계의 상호관계의 효율성 증대, 작업환경, 작업조건의 개선, 안전사고방지, 스포츠 관련 연구 등으로 직접, 간접으로 인간의 보다 나은 삶을 위해 공헌하였다. 그러나, 가시적으로는 생체공학연구의 필요성이 증대되고 있으며, 활성화 단계에 있다고 할 수 있었으나, 국내 생체공학의 연구기반은 아직은 선진국의 연구규모에 비해 전체적으로 미약하고 생체공학에 대한 인식조차 잘 되어 있다고 할 수 없다. 또한, 산업적인 측면에서도 200여 업체가 1천여종의 의료기

를 생산하고 있는데, 저부가가치의 기구중심이며 첨단기술에 의한 고부가가치의 의료기기는 대부분이 수입 또는 기술채유에 의한 생산이 고작이다. 그러므로 국내에서도 이 분야에 대한 관심이 고조되어야 하고, 국민복지 향상을 위한 국가적인 측면에서 뿐 아니라, 외국제품의 고부가가치성을 고려한 산업적인 측면에서도 이에 대한 연구가 활성화 되어야 할 것으로 판단된다.

표 1. 88년 정형외과용 치공제품의 수요

종 목	사용량/년(개)	단 가	금액	비 고
인공고관절	5,000 (일본:30,000)	250 만원	125 억	세계수요:60만개 국내가격:1,250 일본가격:50 만원
체외고정기구	2,500	150 만원	37.5 억	
체내고정기구 (Bone Plate, Nail K-Wire, Screw)	10,000	35 만원	35 억	
계			197.5 억	

\* 최후연구실에서 계획하고 있는 custom order의 인공고관절인 경우 일본에서는 125-150만원의 가격으로 생산되고 있다.

표 2. 연구수진체계

