



# 3D Deformable Human Body Template Model for Ergonomic Product Design



**정하영<sup>1</sup>**, 이원섭<sup>2</sup>, 이승훈<sup>1</sup>, Gradiyan Budi Pratama<sup>1</sup>,  
Edwina Dwi Sadika<sup>1</sup>, Xiaopeng Yang<sup>1</sup>, 이한수<sup>1</sup>, 문수진<sup>1</sup>, **유희천<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

<sup>2</sup> Department of Industrial Design Engineering, TU Delft

2016년 춘계 대한인간공학회

---

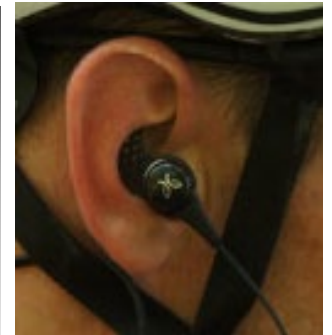
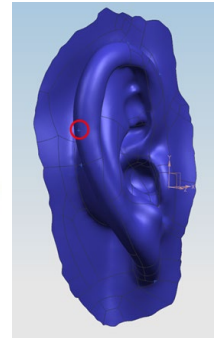
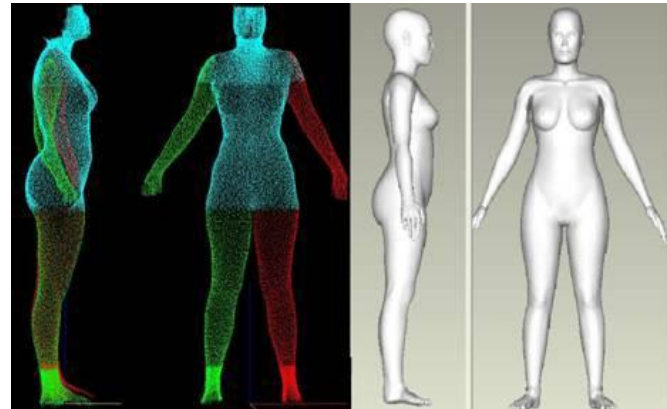
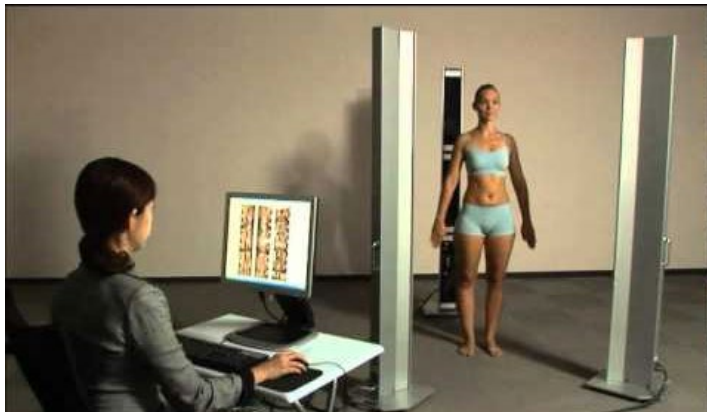
# Contents

---

1. 연구 배경 및 필요성
2. 연구 목적
3. 3D Human Body Template Model
  - Literature Search & Screening
  - 3D HBTM 구성 요소 분석
  - 3D Deformable HBTM 조사 및 개발
  - 3D Deformable HBTM Applications
4. 토 의

# 연구 배경

- 신체에 **Fit성이 높은 인간공학적 제품** **형상 설계 요구 증가**
- 다양한 인체 형상을 분석 및 활용하기 위해 3D scanner를 이용한 **3차원 인체 측정 및 형상 분석**이 수행됨



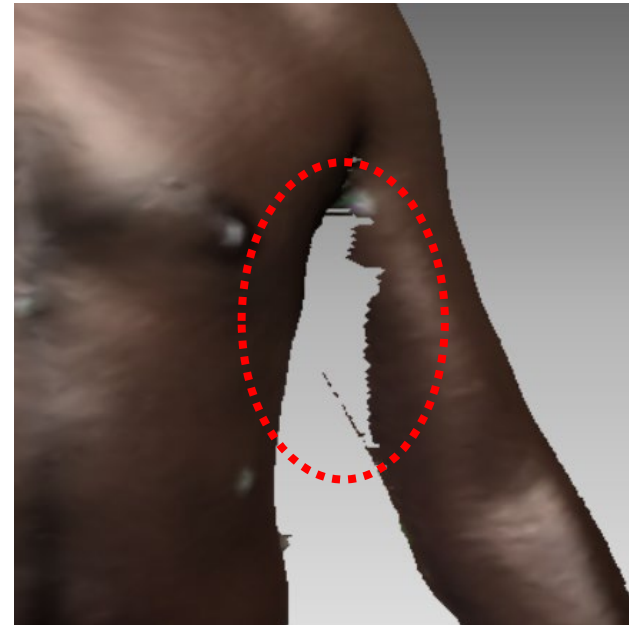
# 연구 필요성

- 기존 **3D scan data 활용의 한계점**
  - ✓ 표준 측정 자세로 측정된 3D scan data는 제품 설계 시 제한적으로 활용됨
  - ✓ 3D scan 시 일부 신체 부위에 **missing part**가 존재하여 **형상 보강 및 후처리 필요**
- 3D scan data의 한계를 보완하기 위해 **Deformable Human Body Template Model**을 이용한 **3차원 인체 형상 기술**이 활용되고 있음

표준 측정 자세로 측정된 3D data



3D scan missing part 예





# 기존 연구의 한계점

- 3차원 Deformable Human Body Template Model은 주로 computer graphics 분야에서 연구되어 자연스러운 3D animation 구현 등에 주로 활용됨
  - ⇒ 3D 인체 형상 기술을 제품 설계에 적용 활성화 필요
  - ⇒ 동작 변화에 따른 체표 길이, 둘레, 부피 변화 등 인체 치수 변형 특성 분석 기술 고도화 필요
- 인체 및 제품의 상호 작용에 따른 형상 변형 특성을 고려한 인간공학적 제품 설계 방법 개발 필요

## Computer graphics의 HBTM application 예

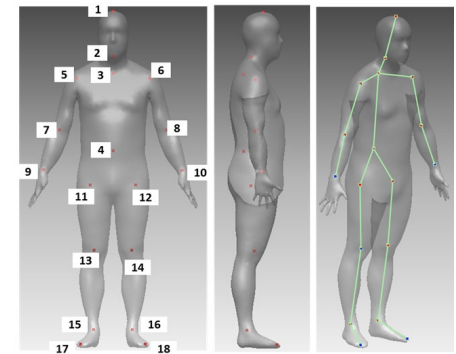
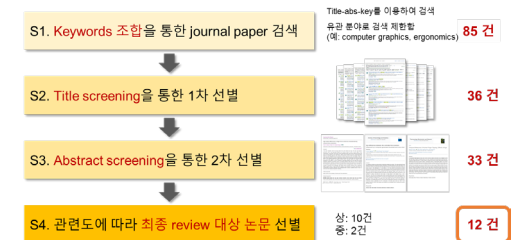


## 형상 변형 특성을 고려한 인간공학적 제품 설계 예



## 인간공학적 제품 설계를 위한 3차원 Deformable Human Body Template Model

1. HBTM 유관 문헌 조사
2. HBTM 구성요소 분석
3. 3D Deformable HBTM 조사 및 개발
4. Deformable HBTM Application 고찰

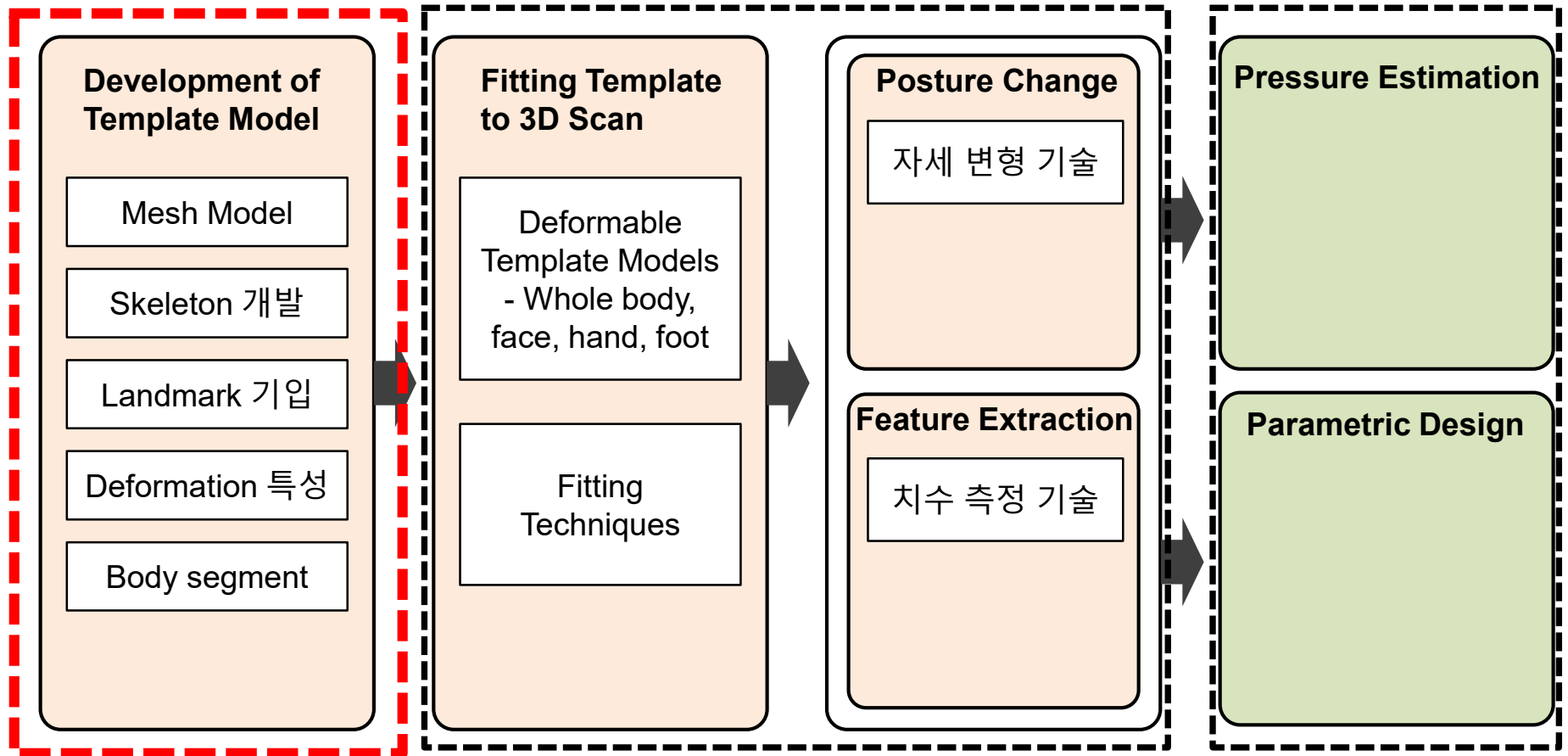


# Big Picture: 인체 형상 분석 기반 제품 설계 기술

## Phase 1: Template Model 개발

## Phase 2: 인체 형상 분석 기술 개발

## Phase 3: 최적 설계



# Human Body Template Model 논문 조사: 방법

- 문헌 조사 site: [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- 검색 조건: title, abstract, keyword
- 검색 분야별 keyword
  - 공통 Keyword: 3D scan, 3D Human, Body scanning, 3D human body
  - **Template model** 관련: Meshed human model, mesh animation, template model, body segment, skeleton estimation, linear blend skinning, skinning mesh
- 검색 식: Title-abs-key((공통 Keyword) AND (세부분야 Keyword))
  - **Template model** 관련: TITLE-ABS-KEY(("3D scan" or "3D Human" or "Body scanning" or "3D human body" or "3D body scan") and ("meshed human model" or "mesh animation" or "template model" or template or "skeleton animation" or "linear blend skinning" or "skinning mesh" or skinning))



# Human Body Template Model 논문 조사: 결과

S1. **Keywords 조합**을 통한 journal paper 검색

Title-abs-key를 이용하여 검색

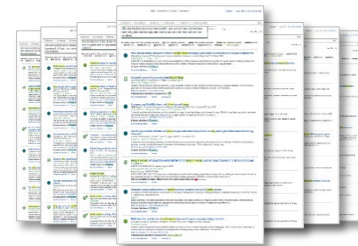
유관 분야로 검색 제한함

(예: computer graphics, ergonomics)

**85 건**



S2. **Title screening**을 통한 1차 선별



**36 건**



S3. **Abstract screening**을 통한 2차 선별



**33 건**



S4. 관련도에 따라 **최종 review 대상 논문** 선별

상: 10건  
중: 2건

**12 건**

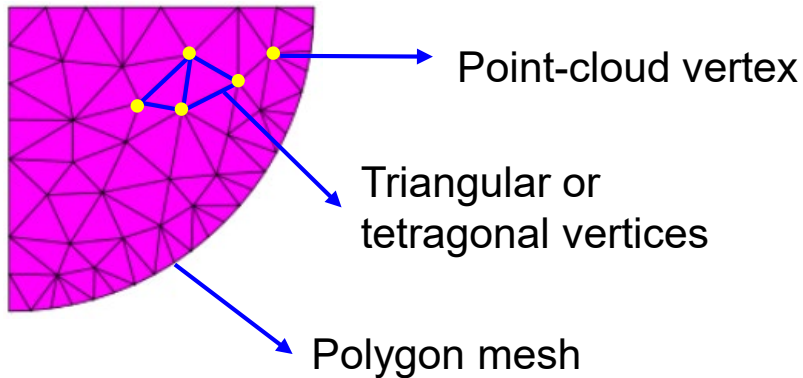
# Human Body Template Model 논문 List

No.	Year	Author(s)	Title	Institute	중요도
1	2012	Ghosh et al.	From Deformations to Parts: Motion-based Segmentation of 3D Objects	Max Planck Institute	상
2	2014	Loper et al.	MoSh: Motion and Shape Capture from Sparse Markers	Max Planck Institute	상
3	2014	Tsoil	Modeling the Human Body in 3D: Data Registration and Human Shape Representation	Max Planck Institute	상
4	2011	Tsoil and Black	Shape- and Pose-Invariant Correspondences using Probabilistic Geodesic Surface Embedding	Max Planck Institute	상
5	2014	Tsoil et al.	Model-based Anthropometry: Predicting Measurements from 3D Human Scans in Multiple Poses	Max Planck Institute	상
6	2014	Jacobson et al.	Bounded Biharmonic Weights for Real-Time Deformation	Interactive Geometry Lab, ETH, Switzerland	상
7	2004	O. Sorkine et al.	Laplacian Surface Editing	Interactive Geometry Lab, ETH, Switzerland	상
8	-	K. Takayama et al.	Sketch-Based Generation and Editing of Quad Meshes	Interactive Geometry Lab, ETH, Switzerland	상
9	2014	Jacobson et al.	Bounded Biharmonic Weights for Real-Time Deformation	IBV, Spain	상
10	2015	Reed et al.	Statistical Prediction of Body Landmark Locations on Surface Scans	UMTRI	상
11	2004	Moccozet et al.	Animatable Human Body Model Reconstruction from 3D Scan Data using Templates	MIRA Lab, University of Geneva, Switzerland	중
12	2011	Yeh et al.	Template-Based 3D Model Fitting Using Dual-Domain Relaxation	National Cheng-Kung University	중

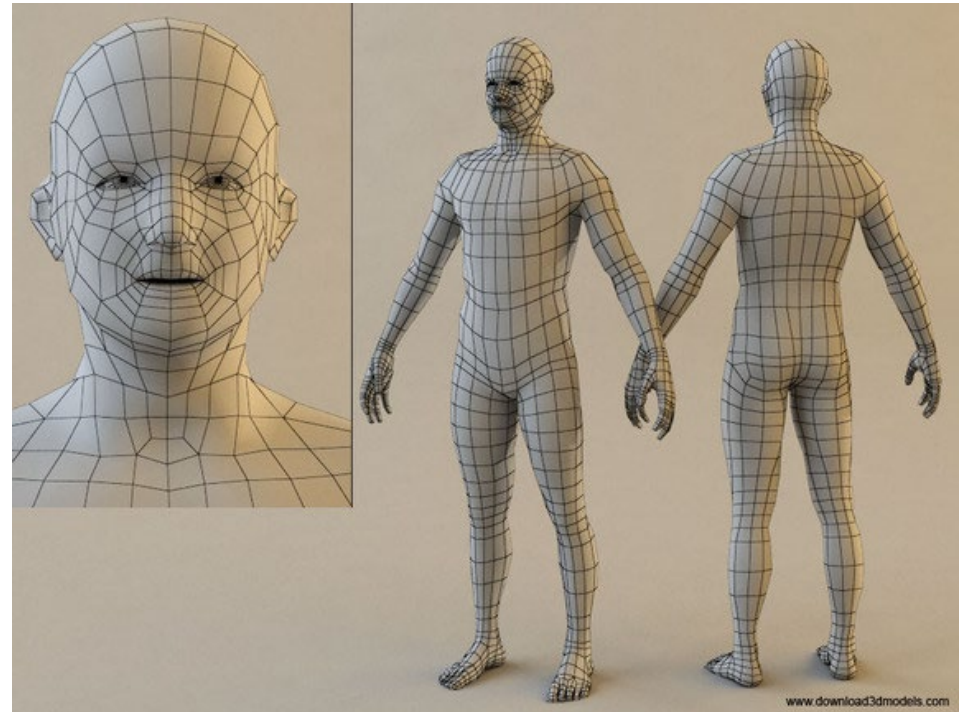
# Human Body Template Model (HBTM) 정의

- **Human Body Template Model(HBTM)**은 point-cloud vertex 및 vertex와 인접한 triangular 또는 tetragonal vertex로 구성된 **변형 가능한 polygon mesh**

## Polygon mesh 구성 요소



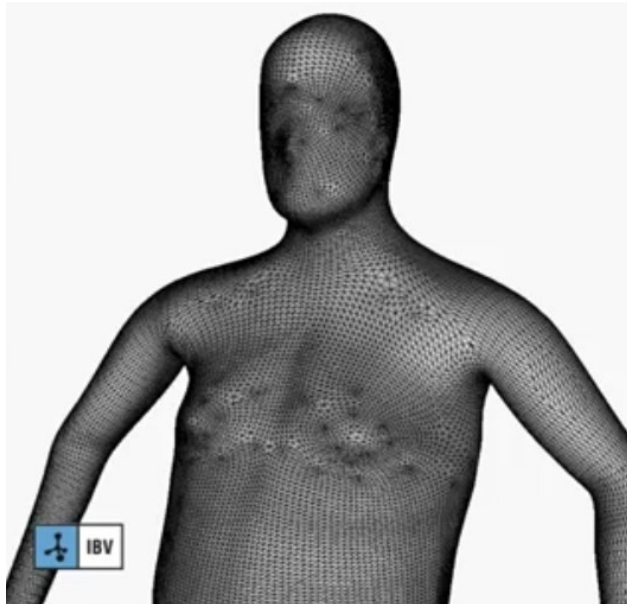
## Tetragonal vertex 기반 HBTM 예



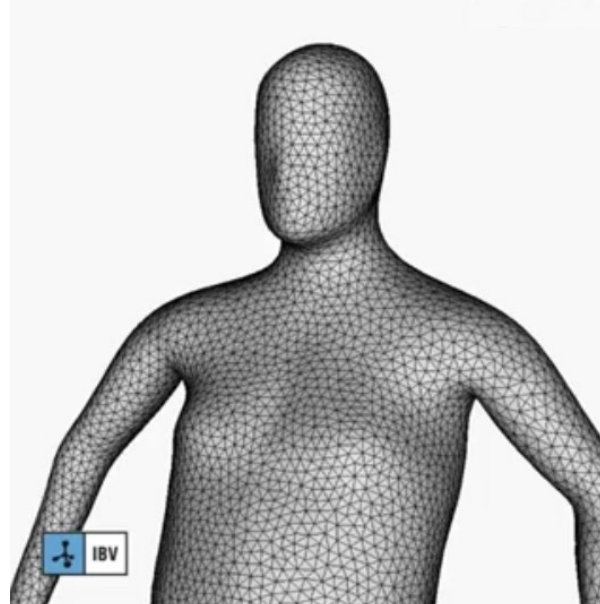
# Human Body Template Model (HBTM) 구성 요소 (1/3)

- ❑ **적정 수의 vertex 및 node**: 3D registration 효율을 고려한 적정 수 도출
- ❑ **인체 기준점(landmark)**: 효율적인 인체 치수 측정을 위한 기준점

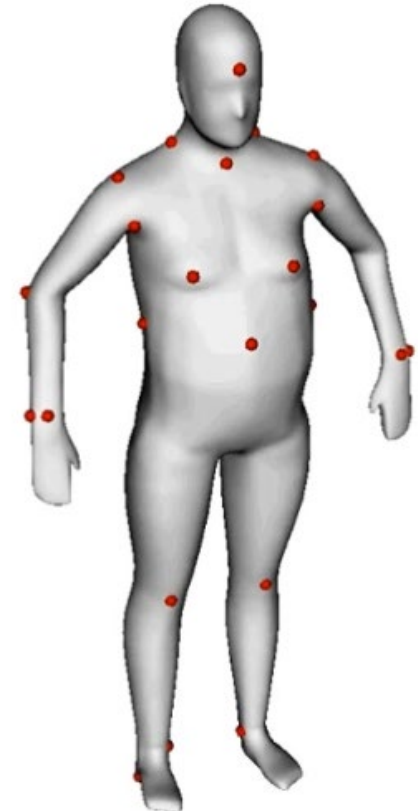
High-resolution HBTM



Low-resolution HBTM



Landmark 예시

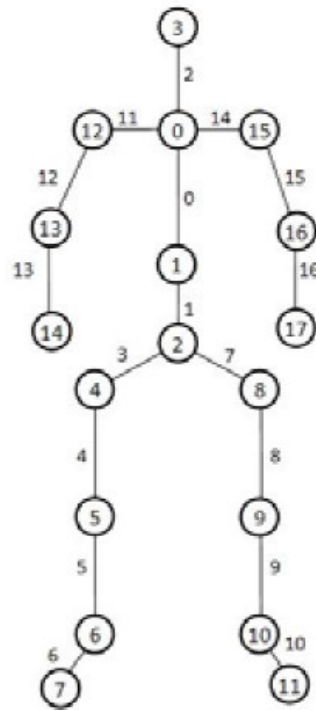
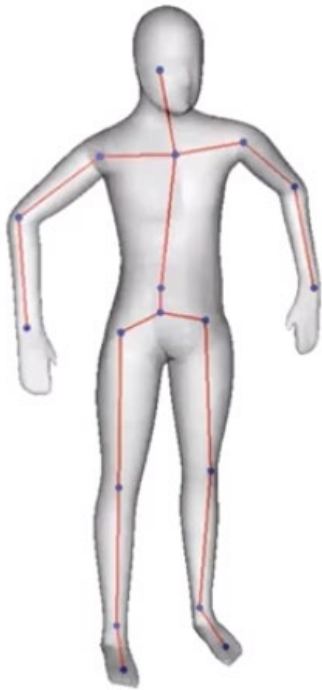




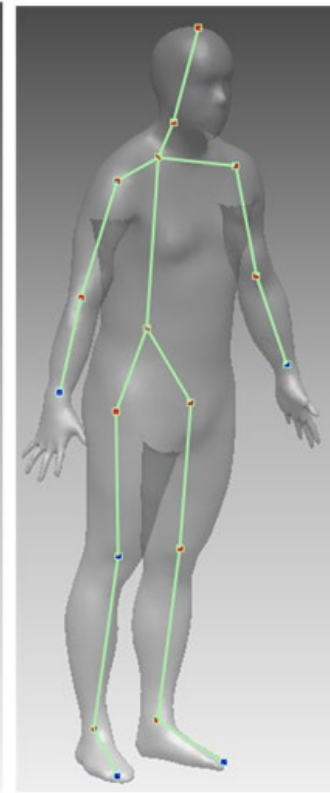
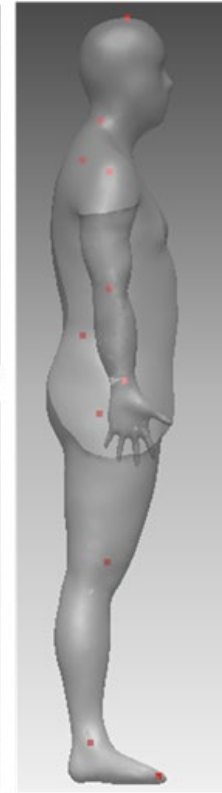
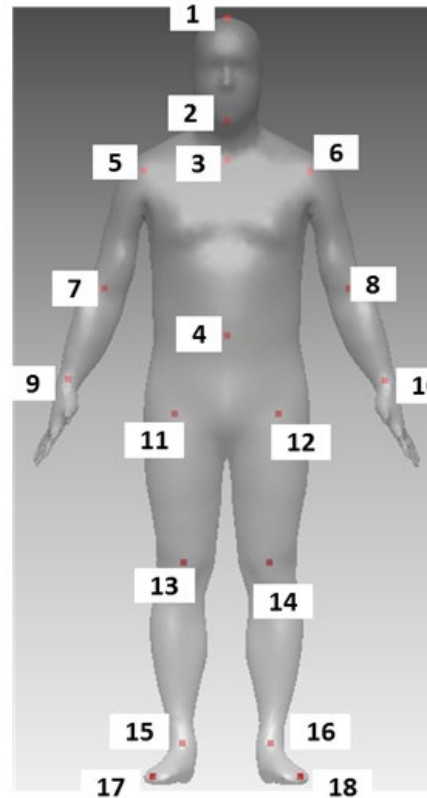
# Human Body Template Model (HBTM) 구성 요소 (2/3)

□ **Skeleton 및 joint**: 인체 형상 및 자세를 고려한 skeleton link 생성

IBV, Spain



EDT Lab (POSTECH)



# Human Body Template Model (HBTM) 구성 요소 (2/3)

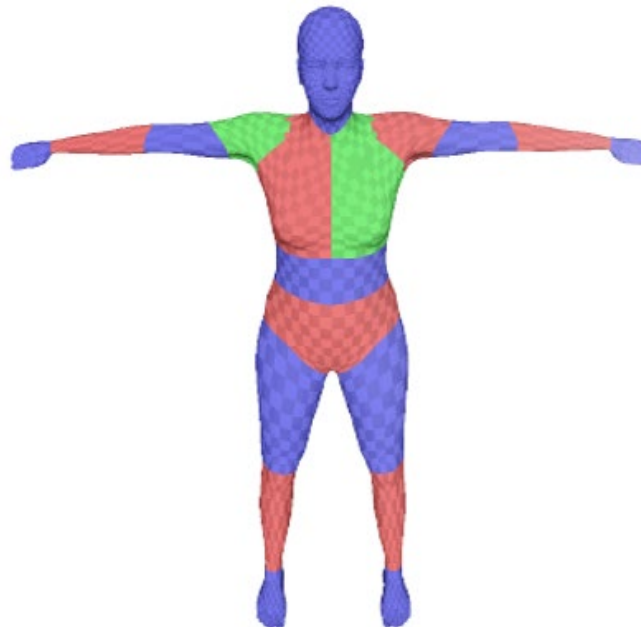
## □ Body segmentation: 자세 변형 시 신체 부위별 변형 특성 고려

Segmentation of body parts  
(# segment = 16)



IBV, Spain

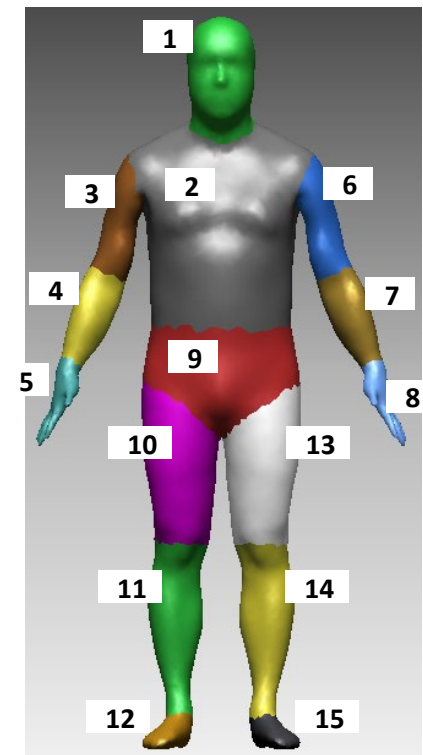
Segmentation of body parts  
(# segment = 19)



Template:  $T^*$

Perceiving Systems Lab, Germany

Segmentation of body parts  
(# segment = 15)



EDT Lab (POSTECH)

# Template Human Body Model (HBTM) 개발

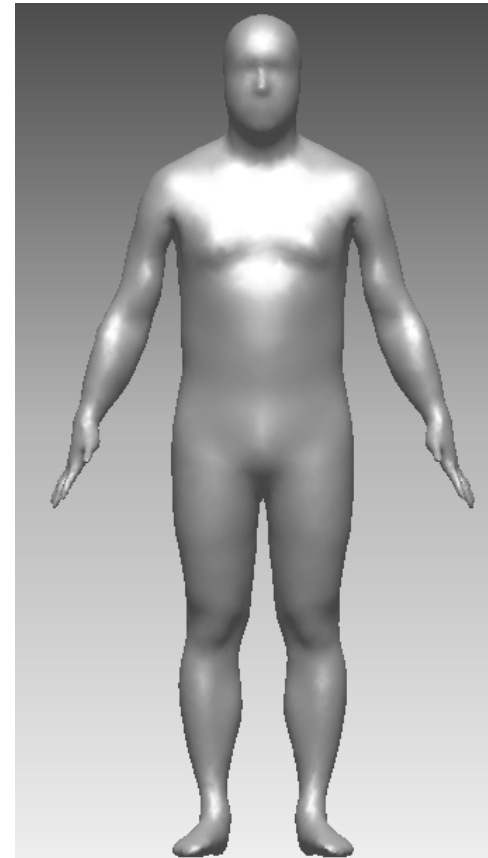
- 평균 크기(50<sup>th</sup>ile)의 3D human model을 가공하여 test template model 개발

Original image (CAESAR data)



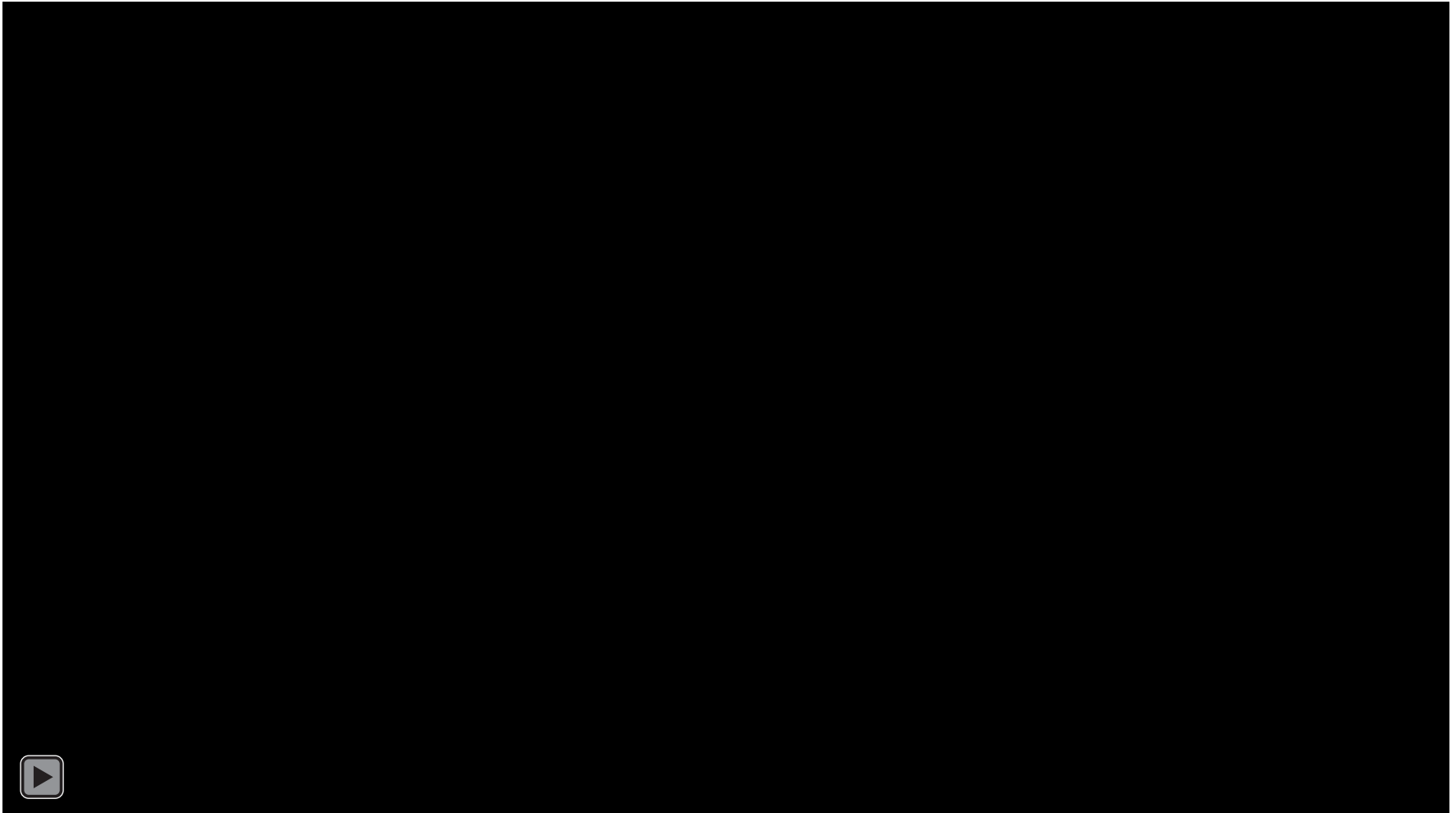
- Hole filling
- Smoothing
- Symmetrizing

Template (test model)



# Template Matching: Video

**Posing** of Template  $\Rightarrow$  **Pre-processing** of Body Scan  $\Rightarrow$  **Fitting** of Template to Body Scan

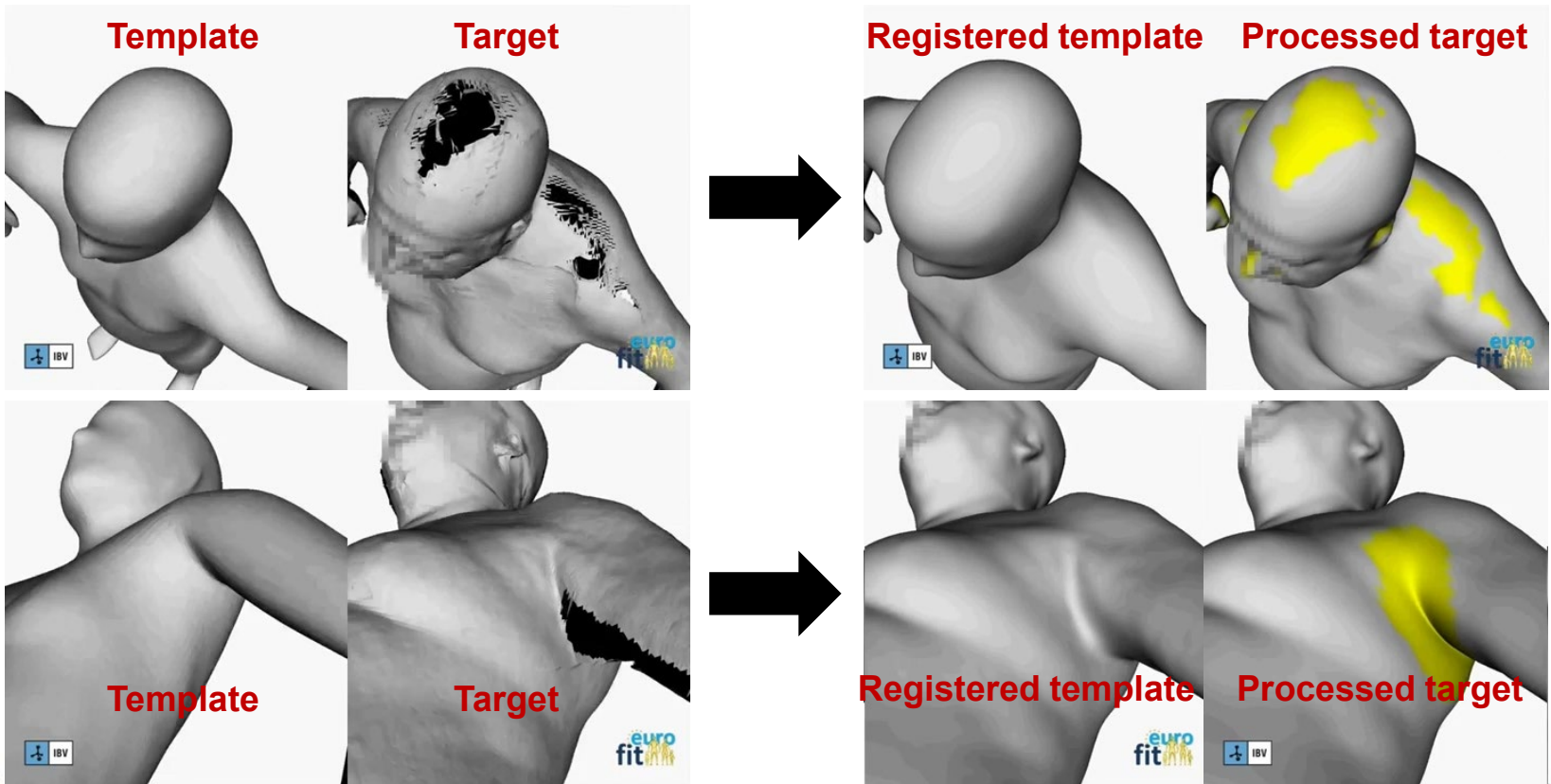




# HBTM Application: Template Matching (1/2)

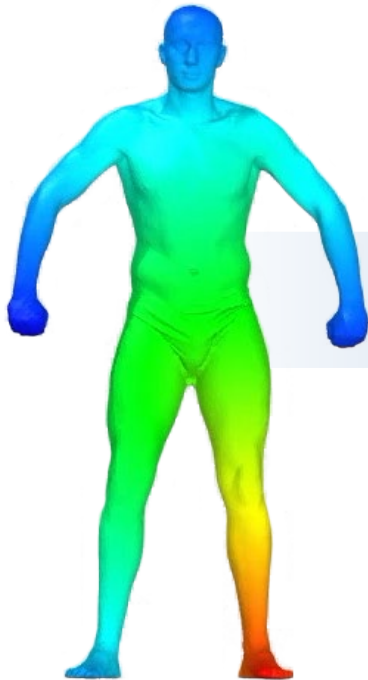
- 표준 자세(standing posture)로 측정된 3D body scan에 HBTM을 정렬
- Template matching 방법은 기존 3D scan 시 획득이 어려운 **접힘부 등의 missing part에 대하여 기존 인체 database를 이용한 보강 시 유용함**

Human Body Template Model을 이용한 형상 보강 예

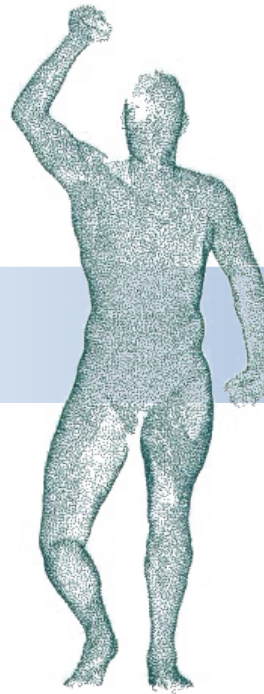


# HBTM Application: Template Matching (2/2)

- 3D scan 기준 자세(standing) 외 **다양한 자세로 측정된 3D scan (target)**으로 **matching 가능** → **특정 자세**(e.g., 제품 사용 자세 등)에서의 **인체 계측 및 자세 추정**에 **활용 가능**



기준 자세 scan data



특정 자세 측정 data

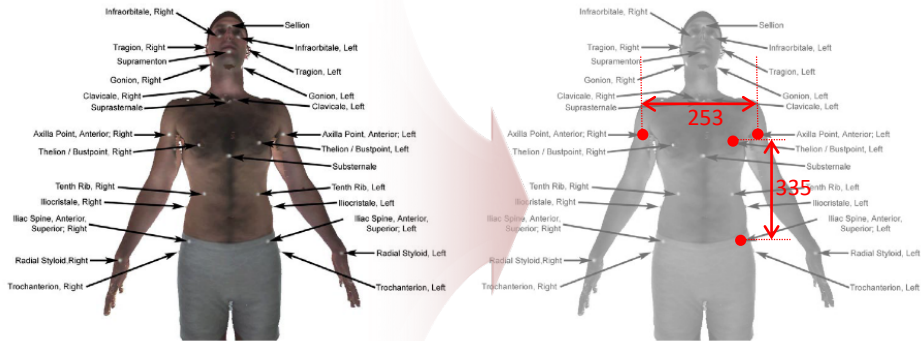


특정 자세 변환 data

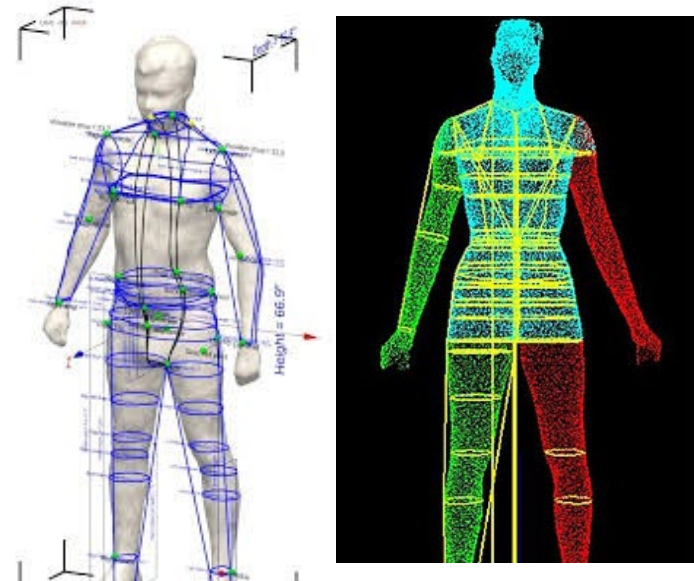
# HBTM Application: Automatic Anthropometry

- HBTM 상에 기존에 정의된 landmark에 의하여 인체 부위의 형상(e.g., 곡률, 면적 등) 및 치수(e.g., 길이, 각도, 둘레길이 등) 측정
- Template matching 시 template model 상의 landmark, joint, skeleton의 위치도 함께 정렬되어 변형된 HBTM 상의 landmark를 활용하여 자동으로 치수 및 형상 변화 분석

Template Model을 이용한 인체 치수 측정



3차원 scan data의 landmark 자동 추출 기술



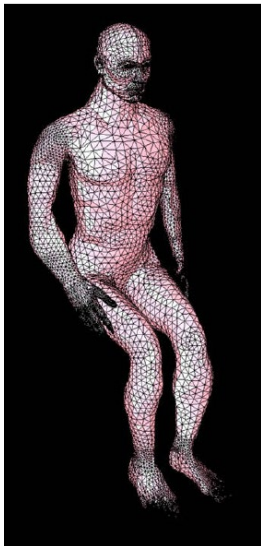
# HBTM Application: Pressure Estimation

- 제품 사용 자세로 변형된 HBTM과 제품간의 접촉 부위의 물성을 고려한 **인체-제품 간 변형 특성 분석** 필요
- **제품의 물성 data** 및 **인체 물성 data library** 수집 및 **유한 요소 인체 모델 (finite element human model) 개발** 예정

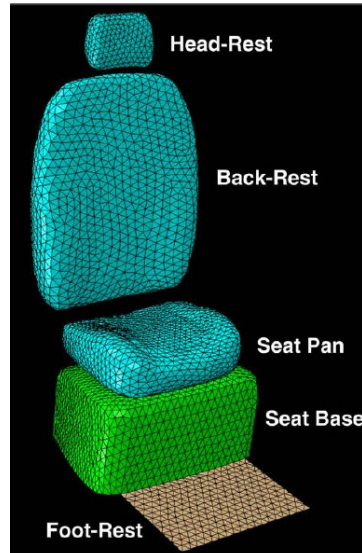
유한 요소 인체 모델 개발 예시



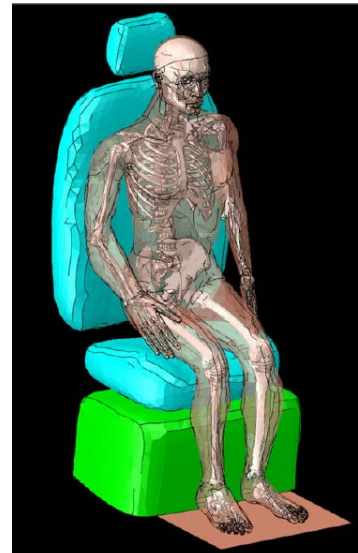
Skeleton model by AnyBody Tech. 2009



Shell model by F. Summer, 2009

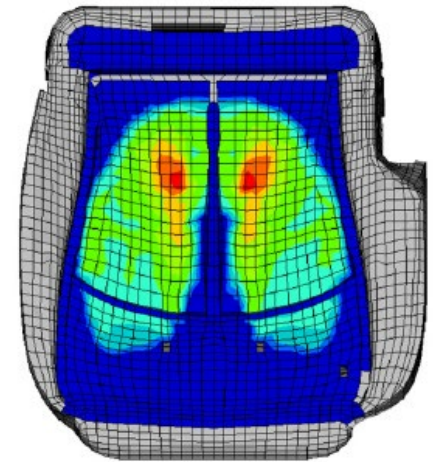


Car-seat model



Assembled seated-human/car-seat

Pressure estimation 예시





# HBTM Application: Product Design

- **Template model의 치수 및 형상 정보를 제품 설계 인자(design dimension)와 연동**하면 사용자의 인체 크기 및 형상에 따른 **맞춤형 제품 형상 설계 시 효율적으로 활용 가능함**

## 인체 형상 기반 맞춤형 제품 설계 절차

(1) 제품 설계 주요 변수(variable) 정의



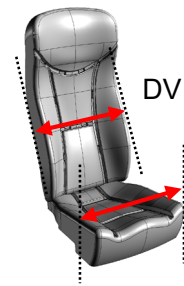
(2) Template model의 인체 변수(variable) 정의



(3) 제품설계변수-인체변수간 연동

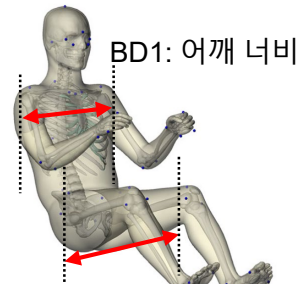


(4) 맞춤형 자동 설계 치수 제공



DV1: Seatback width

DV2: Seatpan width



BD1: 어깨 너비

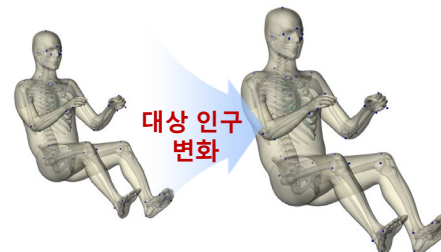
BD2: 앉은 엉덩이 너비

DV1: Seatback width

BD1: 어깨 너비

DV2: Seatpan width

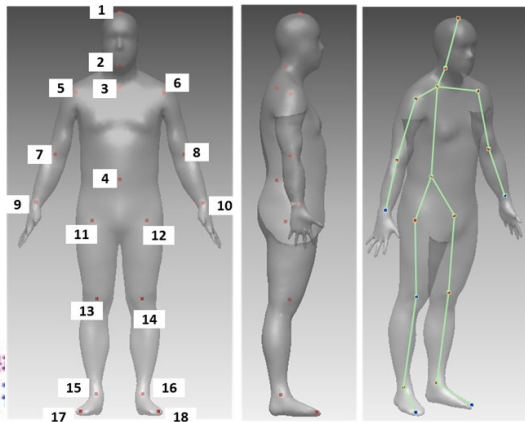
BD2: 앉은 엉덩이 너비



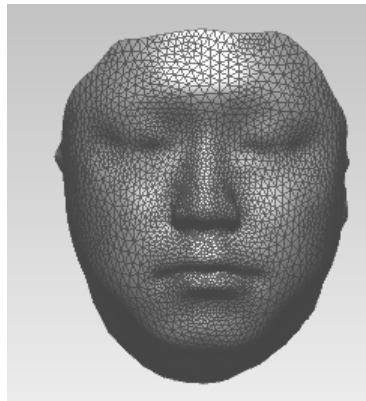
# Discussion (1/2)

- 본 연구는 문헌 조사를 통하여 **Human Body Template Model에 대하여 조사하고 활용성을 파악함**
  - ✓ 인체 치수 및 형상의 자동 측정 가능함
  - ✓ 다양한 자세로 변형 가능
  - ✓ 인체-제품 간 상호작용 시 변형 특성 예측 가능
- **인체 부위별 특성을 고려한 Human Body Template Model을 개발**하면 제품 설계 시 효율적으로 활용 가능함
  - ✓ **Whole body template** 외에도 **face template, hand template** 개발 예정

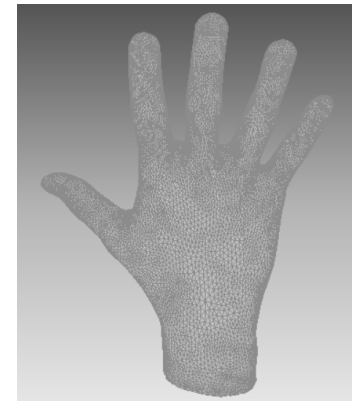
**Whole body template**



**Face template**



**Hand template**

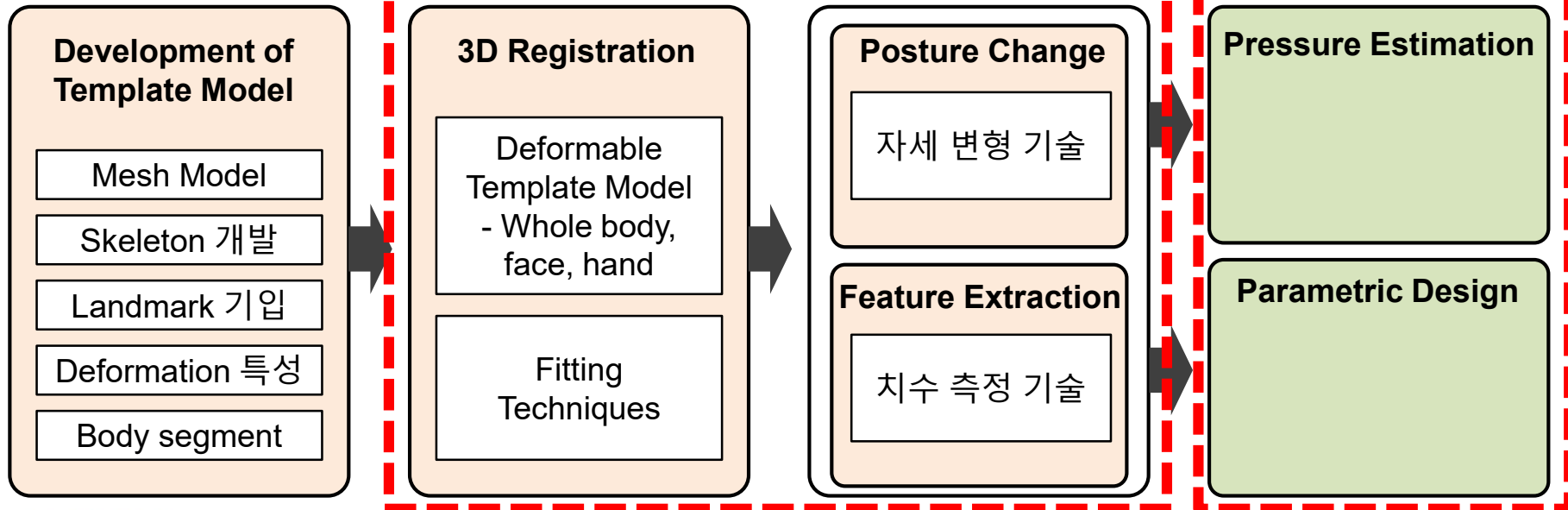


# Discussion (2/2)

- ❑ 개발된 deformable human body template model을 기반으로 **3D registration** 기술, 자세 변형 기술을 적용하여 다양한 제품 사용자세에서의 인체 형상 획득 및 분석 예정
- ❑ Virtual fitting, FEA 기술 및 parametric modeling 기술을 적용하여 **인체의 deformation이 반영된 최적 제품 형상 설계 방법론 구축**

## Phase 2: 인체 형상 분석 기술 개발

## Phase 3: 최적 설계



# Q & A



본 연구는 한국연구재단의 중견연구자 지원 사업  
(NRF-2015R1A2A2A03005486)을 통해 수행되었습니다.

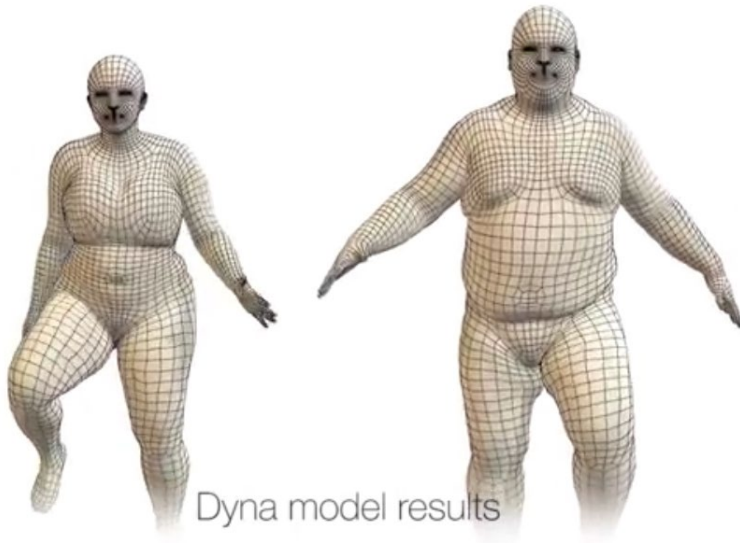
경청해 주셔서 감사합니다. 😊

[edt.postech.ac.kr](http://edt.postech.ac.kr)

[niceterran36@postech.ac.kr](mailto:niceterran36@postech.ac.kr)

# Human Body Template Model (HBTM) 개발 사례

## □ 해외 개발 HBTM 사례



Dyna model results

**Perceiving Systems Lab  
Germany**



SCAPE body model

**Perceiving Systems Lab  
Germany**



**IBV  
Spain**