

# 2D 영상 기반 신체 측정 시스템 조사

산학 캡스톤 연구

한동대학교 기계제어공학부  
임순호  
지도교수: 김영근

2024/09/12

# 목차

table of contents

- 1 프로젝트 목표
- 2 현재 상용 시스템
- 3 신체 측정 방법 및 채택
- 4 AI 모델 시험 & 시각화 방법
- 5 프로젝트 세부 목표  
및 진행계획



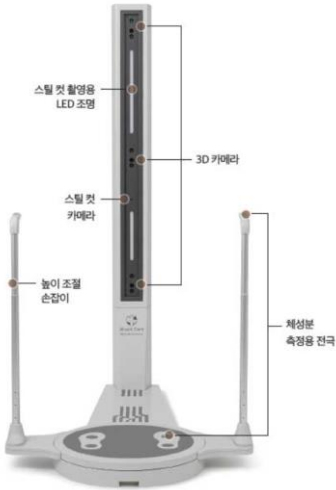
신체를 측정하여 “신체 스펙”을  
한눈에 보기 쉽고 이해하기 쉬운 시스템

Part 2    **현재 상용 시스템 – 3D 스캔**

| 제품 이름      | Fit3d                            | Styku                             | PMT innovation<br>(shape care)   |
|------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 사용 데이터     | 3D                               | 3D                                | 3D                               |
| 기능         | 신체 측정<br>BMI<br>3D 재구성<br>데이터 저장 | 신체측정<br>3D 재구성<br>데이터 저장<br>운동 코치 | 신체 측정<br>BMI<br>3D 재구성<br>데이터 저장 |
| 하드웨어<br>구성 | BMI<br>디스플레이<br>RGBD(3)<br>턴테이블  | RGBD(2)<br>턴테이블                   | BMI<br>LED 조명<br>RGBD(3)<br>턴테이블 |
| 측정 시간      | 40[sec]                          | 35[sec]                           | -                                |
| 정확도        | Slightly better<br>than Styku    | 0.2[cm]                           | -                                |
| 가격         | 12스캔: \$500<br>구매: 1000만원        | 1스캔: \$59<br>구매: 870만원            | -                                |



Fit3d



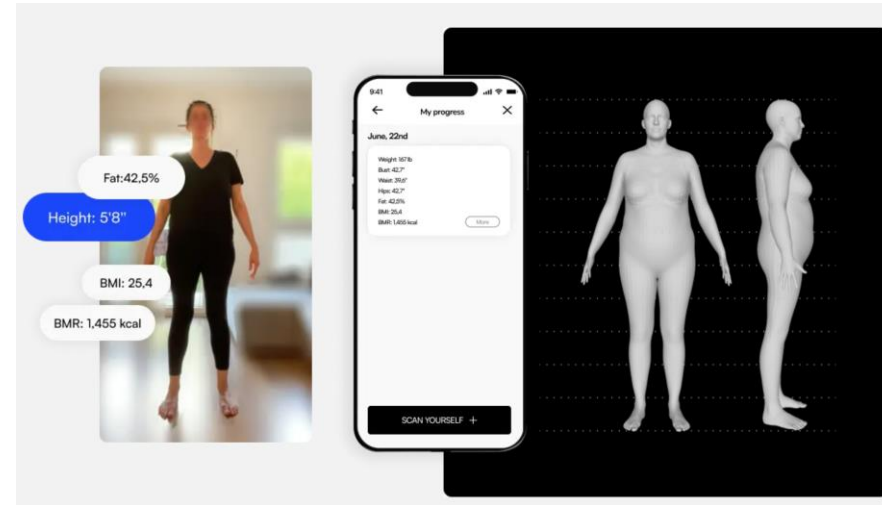
PMT innovation



Styku

## Part 2 현재 상용 시스템 – 2D 영상

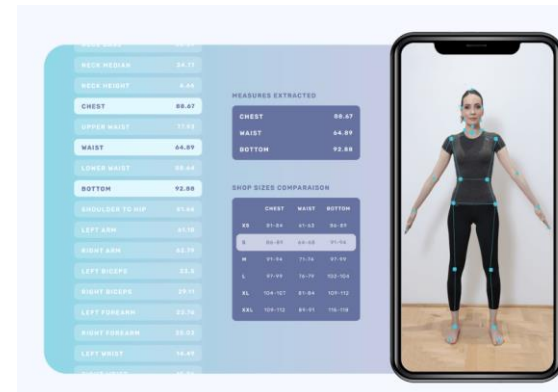
| 제품 이름  | Abody.ai         | 3D Look                  | esenca         |
|--------|------------------|--------------------------|----------------|
| 사용 데이터 | 2D               | 2D                       | 2D             |
| 기능     | 신체 측정            | 신체 측정<br>3D 재구성<br>버추얼 옷 | 신체 측정<br>옷 사이즈 |
| 측정 기술  | 신체 측정 AI         | 신체 측정 AI                 | 신체 측정 AI       |
| 측정 시간  | 20[sec]<br>(실험적) | 45[sec]                  | -              |
| 정확도    | 약3.2[cm]<br>(실측) | -                        | 0.5[cm]        |
| 가격     | free             | \$499/달<br>(100번 한정)     | Paid           |



3D Look



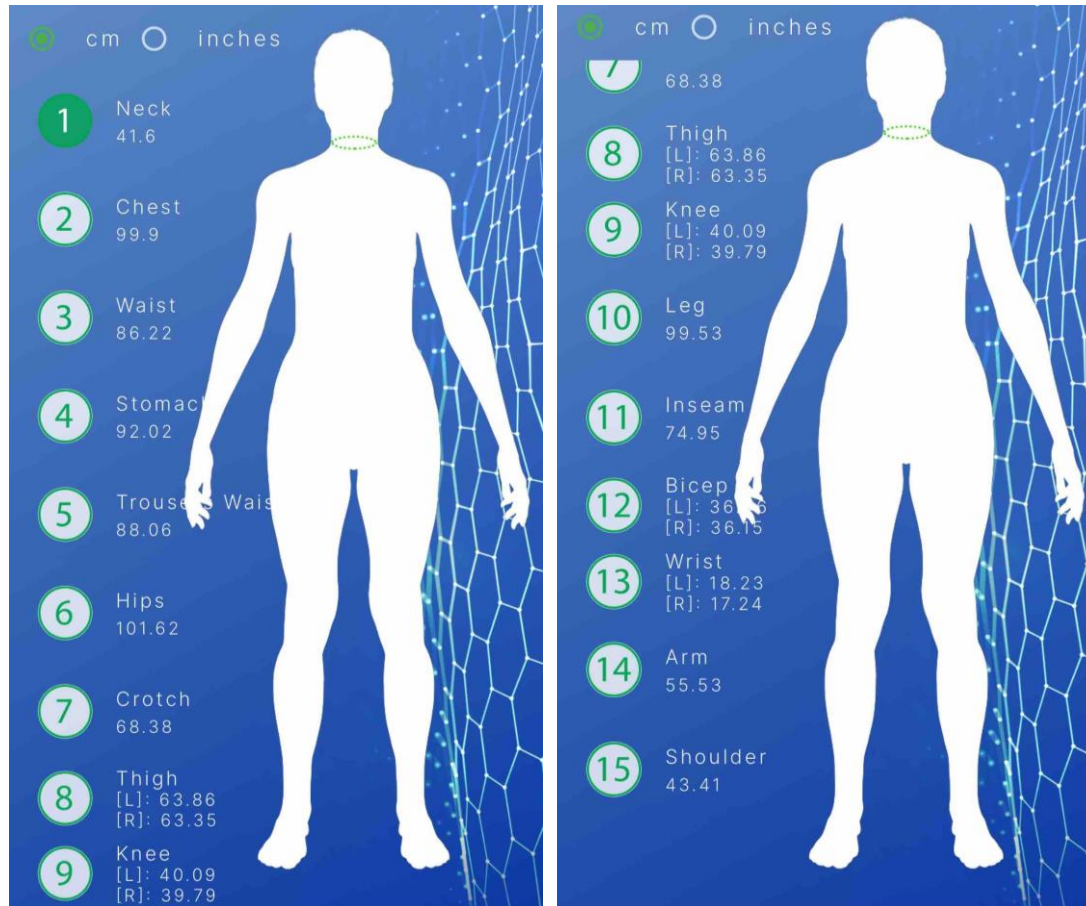
Abody.ai



esenca

## Part 2 현재 상용 시스템 – 2D 영상

- Abody.ai – self test



| 신체 부위         | 실측[cm] | 프로그램[cm] | 절대오차[cm] |
|---------------|--------|----------|----------|
| Neck circ.    | 38.4   | 41.6     | 3.2      |
| Chest circ.   | 100.6  | 99.9     | 0.7      |
| Waist circ.   | 86.8   | 86.22    | 0.58     |
| Stomach circ. | 90.5   | 92.02    | 1.52     |
| Hips circ.    | 101    | 88.06    | 12.94    |
| Thigh circ.   | 63     | 63.86    | 0.86     |
| Knee circ.    | 39     | 39.79    | 0.79     |
| Leg           | 100    | 99.53    | 0.07     |
| Bicep circ.   | 36.5   | 36.15    | 0.1      |
| Wrist circ.   | 17.9   | 18.23    | 0.33     |
| Arm           | 56     | 55.53    | 0.47     |
| Shoulder      | 46     | 43.41    | 2.59     |

측정 데이터 비교

최대오차: 12.94[cm]  
MAE: 2[cm]



Part 3

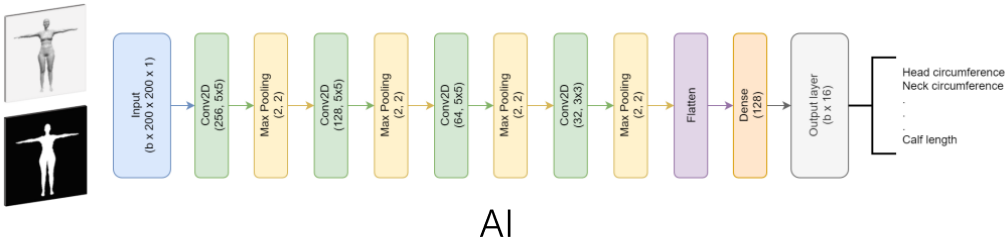
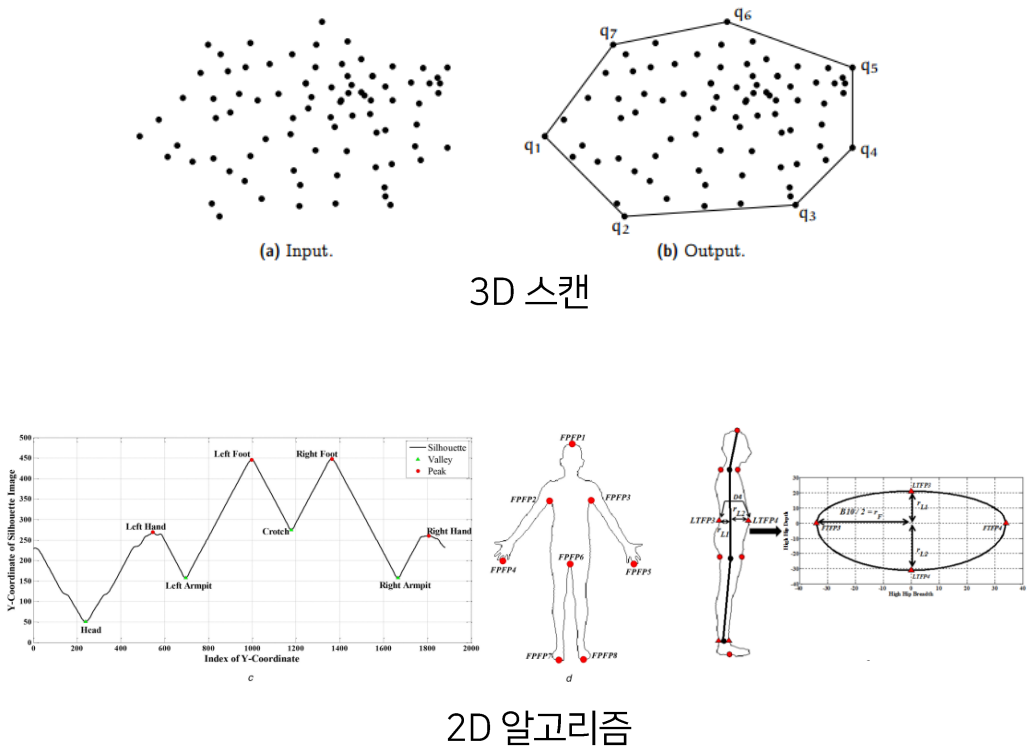
신체 측정 방법

| 측정 방법  | 3D 스캔  | 2D 알고리즘  | AI                     |
|--------|--|----------|------------------------|
| 사용 데이터 | 3D point cloud   | 2D       | 2D                     |
| 측정 기술  | 2D convex hull<br>Alpha shape<br>Concave hull<br>Quickhull | Keypoint | Deep learning<br>(CNN) |

신체 측정 방법

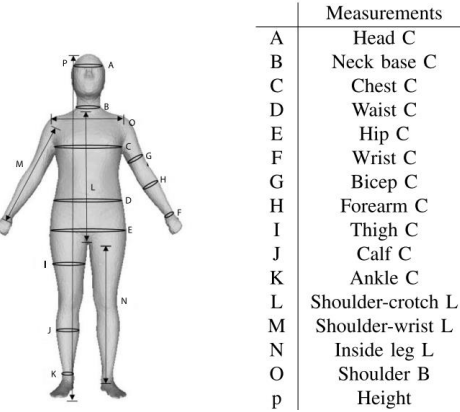
| 2D 측정방법          | 알고리즘 기반 신체 측정 (1)          | AI 모델 신체 측정 (2) |
|------------------|----------------------------|-----------------|
| 정확성(MAE)<br>- 논문 | 4.87[mm]                   | 4.64[mm]        |
| 장점               | 설명가능한 프로그램                 | 간단하게 구축이 가능     |
| 단점               | Keypoint 추출어려움<br>둘레 에러 발생 | 학습 데이터<br>학습 시간 |

2D 측정 방법 비교



Part 3 신체 측정 방법 – 2D vs 3D

|         |                               | Circumference |             |             |             |             |             |            |             |            |             |             |            | Length      |             |            | Breadth | Height     | Mean        |
|---------|-------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|---------|------------|-------------|
|         |                               | From          | A           | B           | C           | D           | E           | F          | G           | H          | I           | J           | K          | L           | M           | N          | O       | P          |             |
| 2D      | Smith et al. [149]            | [149]         | 14.2        | <b>11.4</b> | <b>16.2</b> | 25.0        | 15.2        | <b>5.5</b> | <b>10.4</b> | 7.9        | <b>11.1</b> | <b>10.4</b> | <b>6.3</b> | <b>11.0</b> | <b>6.0</b>  | <b>8.0</b> | 8.4     | <b>7.9</b> | <b>10.9</b> |
|         | Yan et al. [173]              | [173]         | 11.6        | 12.3        | 26.1        | 28.7        | 22.6        | 6.9        | 13.0        | <b>7.8</b> | 18.2        | 11.7        | 7.8        | 13.9        | 9.5         | 11.2       | 7.6     | 20.1       | 14.3        |
|         | Dibra et al. 17 [45]          | [173]         | 10.8        | 13.1        | 28.3        | 38.6        | 26.0        | 6.5        | 13.4        | 8.0        | 18.5        | 11.8        | 7.9        | 13.4        | 6.9         | 8.7        | 7.7     | 11.8       | 14.5        |
|         | Boisvert et al. [25]          | [25]          | <b>11.0</b> | 27.0        | 21.0        | <b>14.0</b> | 42.0        | 21.0       | 23.0        | 13.0       | 33.0        | 12.0        | 14.0       | 20.0        | 20.0        | 34.0       | 30.0    | 9.0        | 21.5        |
|         | Chen et al. [34]              | [149]         | 23.0        | 27.0        | 18.0        | 37.0        | <b>15.0</b> | 24.0       | 59.0        | 76.0       | 19.0        | 16.0        | 28.0       | 52.0        | 53.0        | 9.0        | 12.0    | 21.0       | 30.6        |
|         | Kanazawa et al. [80]          | [173]         | 16.3        | 27.2        | 68.3        | 85.3        | 62.8        | 14.3       | 35.6        | 16.7       | 39.3        | 21.4        | 13.6       | 28.6        | 45.3        | 37.2       | 21.8    | 96.5       | 39.4        |
|         | Xi et al. [170]               | [149]         | 50.0        | 59.0        | 36.0        | 55.0        | 23.0        | 56.0       | 146.0       | 182.0      | 35.0        | 33.0        | 61.0       | 119.0       | 109.0       | 19.0       | 24.0    | 49.0       | 66.0        |
|         | Bogo et al. [23]*             | [173]         | 28.1        | 24.4        | 74.5        | 72.8        | 99.1        | 11.9       | 28.4        | 25.9       | 51.3        | 28.4        | 28.8       | 57.8        | 150.2       | 219.1      | 51.9    | 398.5      | 84.4        |
| 3D      | Yan et al. [172] <sup>†</sup> | [172]         | -           | <b>9.1</b>  | 14.3        | <b>12.4</b> | <b>8.9</b>  | <b>4.5</b> | <b>5.5</b>  | -          | <b>7.9</b>  | <b>3.0</b>  | 10.6       | -           | 13.2        | -          | -       | -          | <b>8.9</b>  |
|         | Tsoli et al. [159]            | [159]         | <b>5.9</b>  | 15.8        | <b>12.7</b> | -           | 12.4        | -          | -           | -          | -           | -           | <b>6.2</b> | -           | <b>10.1</b> | -          | -       | <b>7.5</b> | 10.1        |
|         | Hasler et al. [64]            | [159]         | 7.5         | 17.0        | 13.0        | -           | 16.2        | -          | -           | -          | -           | -           | 6.6        | -           | 10.4        | -          | -       | 10.2       | 11.5        |
|         | Anthroscan [7]                | [159]         | 7.4         | 21.1        | 12.4        | -           | 7.5         | -          | -           | -          | -           | -           | 7.6        | -           | 11.7        | -          | -       | 5.6        | 10.4        |
| AE [58] |                               | [58]          | ± 5         | ± 11        | ± 15        | ± 12        | ± 12        | -          | -           | -          | ± 6         | -           | ± 4        | -           | -           | -          | ± 8     | ± 10       | ± 9.2       |



정확도: 3D > 2D

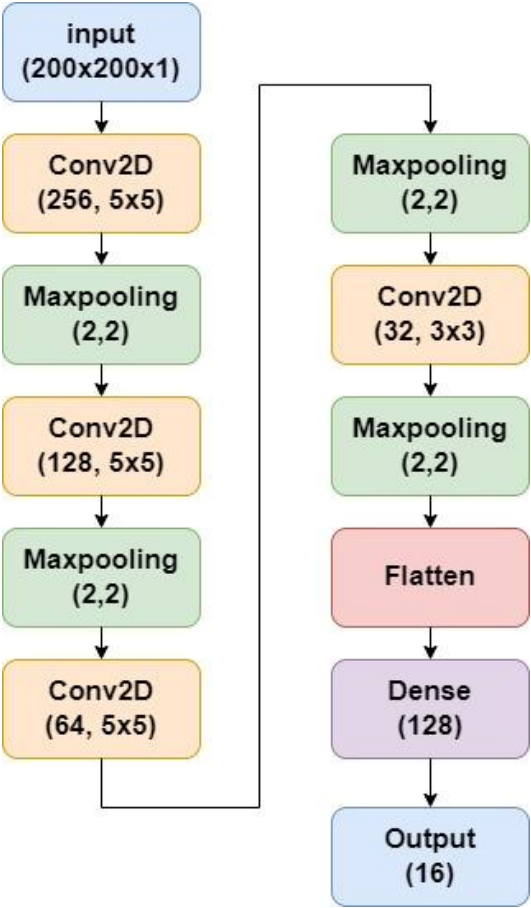
가격 효율: 3D << 2D



“2D 기술 채택”



Part 4 AI 모델 시험 – Conv\_BoDiEs



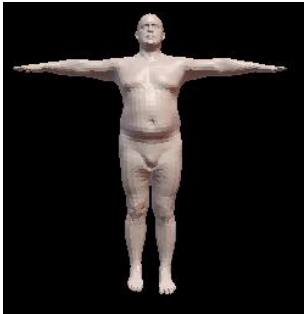
모델 아키텍처

| Body part       | Actual | Prediction | MAE [mm]  |
|-----------------|--------|------------|-----------|
| chest circ      | 97.47  | 97.33      | 9.3       |
| waist circ      | 84.56  | 83.57      | 8.8       |
| pelvis circ     | 99.24  | 98.75      | 9.2       |
| neck circ       | 38.61  | 39.38      | 5.8       |
| bicep circ      | 27.19  | 27.43      | 4.6       |
| thigh circ      | 48.74  | 49.19      | 8.4       |
| knee circ       | 36.97  | 37.03      | 5.3       |
| arm length      | 54.18  | 54.04      | 2.5       |
| leg length      | 79.19  | 79.56      | 3.7       |
| calf length     | 41.19  | 41.46      | 2.4       |
| head circ       | 56.97  | 56.76      | 4.1       |
| wrist circ      | 16.61  | 16.69      | 3.0       |
| arm span        | 183.77 | 183.11     | 4.4       |
| shoulders width | 38.81  | 38.61      | 3.1       |
| torso length    | 50.07  | 50.60      | 4.4       |
| inner leg       | 75.31  | 74.15      | 8.7       |
| MAE(total)      |        |            | 5.537[mm] |

논문 모델 시험 결과

| 모델       | Conv_BoDiEs                                       |
|----------|---|
| 입력       | Gray Scale, front image                           |
| 출력       | 16개의 신체 치수 예측 값                                   |
| 학습 데이터   | 4만개의 *SMPL 모델을 캡처한 200x200x1 이미지 (전체 데이터의 80%)    |
| 학습률      | 10 <sup>-4</sup>                                  |
| 손실 함수    | L1loss<br>( $L_1 = \sum_{i=1}^n  y_i - f(x_i) $ ) |
| 활성 함수    | Relu  |
| Epoch    | 300   |
| 정확도 /MAE | 4.64[mm] (논문)                                     |

논문 기반 모델 학습 및 성능



데이터 이미지

Part 4 시각화 – SMPL

- 사용자 직관적인 시스템을 위해 3차원 형상 디스플레이 필요
- SMPL 모델을 사용하여 2D 데이터를 3D 데이터로 표현

SMPL(Skinned multi person linear model)  
인간의 선형 3D 모델  
72개의 pose 파라미터 + 10개의 shape 파라미터



| 모델 | SMPL (선형 모델)   |
|----|--|
| 입력 | pose parameter: (23,3)<br>- 24개의 조인트 위치<br>Shape parameter: (10)<br>- 10개의 외형 파라미터 |
| 출력 | (6890, 3) 3차원 좌표<br>(24,3) joint location  |

| pose<br>관절 이름 및 순서 | shape<br>신체 부분 및 순서    |
|--------------------|------------------------|
| Root (Pelvis)      | 전신의 전반적인<br>크기 및 비율 조정 |
| Left Hip           |                        |
| Right Hip          | 상체와 하체의 길이<br>비율 조정    |
| Spine 1            |                        |
| Left Knee          | 상체의 두께 및<br>어깨 넓이 조정   |
| Right Knee         |                        |
| Spine 2            | 하체의 두께 및<br>허벅지 크기 조정  |
| Left Ankle         |                        |
| Right Ankle        | 몸통의 두께 및<br>복부의 모양 조정  |

- 적은 비용으로 개인이 사용할 수 있는 신체 측정 시스템 구축  
측정오차: MAE = 4[mm] 이하  
시각화 시스템

| 월        | 9월 상반기/하반기 |           | 10월 상반기/하반기 |        | 11월 상반기/하반기 |        |
|----------|------------|-----------|-------------|--------|-------------|--------|
| 하드웨어 설계  | >->->->->  | 완료        |             |        |             |        |
| AI 측정 모델 | >->->->->  | >->->->-> | 완료          |        |             |        |
| SMPL 시각화 | >->->->->  | >->->->-> | >->->->->   | 완료     |             |        |
| 시험 및 개선  |            |           |             | 1차, 2차 | 3차, 4차      | 5차, 6차 |

감사합니다

---