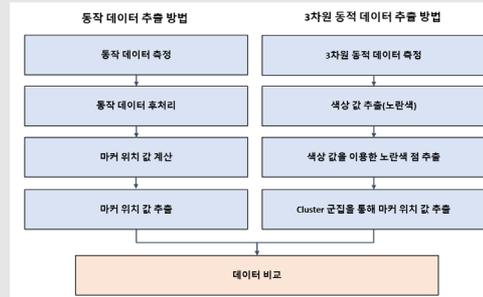
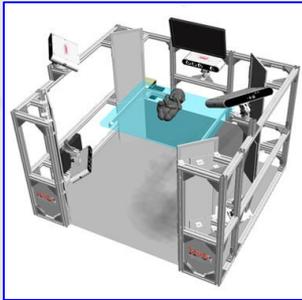


동적 3차원 인체 측정 시스템의 신뢰성 평가



| 측정 방법 | 마커 사이 거리(mm) | | | | | | |
|-------|--------------|---------|--------------|--------------|-------------------|--------------|-------|
| | 미간 - 좌측 관자놀이 | 미간 - 인종 | 미간 - 우측 관자놀이 | 좌측 관자놀이 - 인종 | 좌측 관자놀이 - 우측 관자놀이 | 인종 - 우측 관자놀이 | |
| 피험자 1 | 동작 | 111.1 | 115.4 | 115.1 | 121 | 168.5 | 119.9 |
| | 3차원 동적 | 113 | 115.6 | 115.9 | 122.4 | 168.8 | 118.8 |
| | 오차 | 1.9 | 0.2 | 0.8 | 1.4 | 0.3 | 1.1 |
| 피험자 2 | 동작 | 108.7 | 92.7 | 116.9 | 114.1 | 164.6 | 107.2 |
| | 3차원 동적 | 108.1 | 93.6 | 115.9 | 114.5 | 166.2 | 109 |
| | 오차 | 0.6 | 1.1 | 1 | 0.4 | 1.6 | 1.8 |
| 피험자 3 | 동작 | 117.6 | 124.7 | 116.8 | 127.3 | 178.4 | 128.7 |
| | 3차원 동적 | 117.4 | 124.7 | 117.7 | 125.4 | 177.6 | 128.9 |
| | 오차 | 0.2 | 0 | 0.9 | 1.9 | 0.8 | 0.2 |

정영제¹, 정하영¹, 최신아¹, 박선미², 유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과

²건국대학교 패션디자인학과

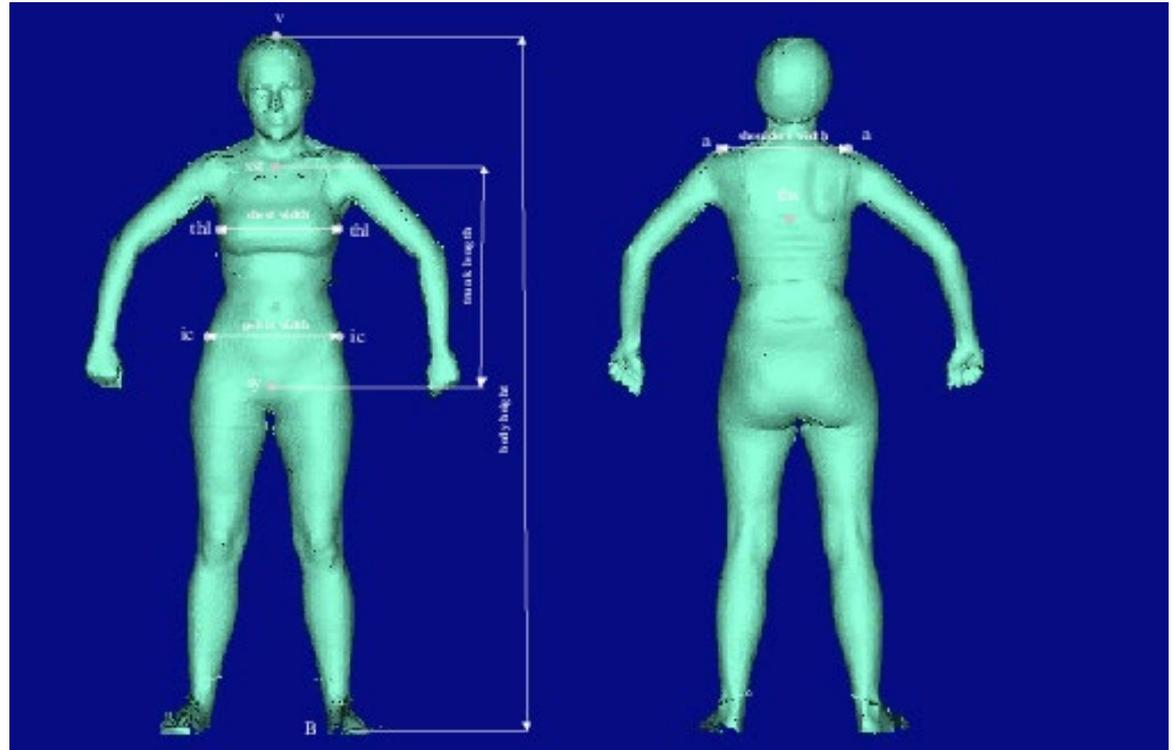
본 과제는 국가기술 표준원 지원사업의 지원(33223065500)에 의해 수행 되었습니다.

Contents

- 서론
 - 연구 배경 및 필요성
 - 연구 목적
- 측정 장비
- 신뢰성 비교 방법
- 측정 데이터 결과
- 신뢰성 비교

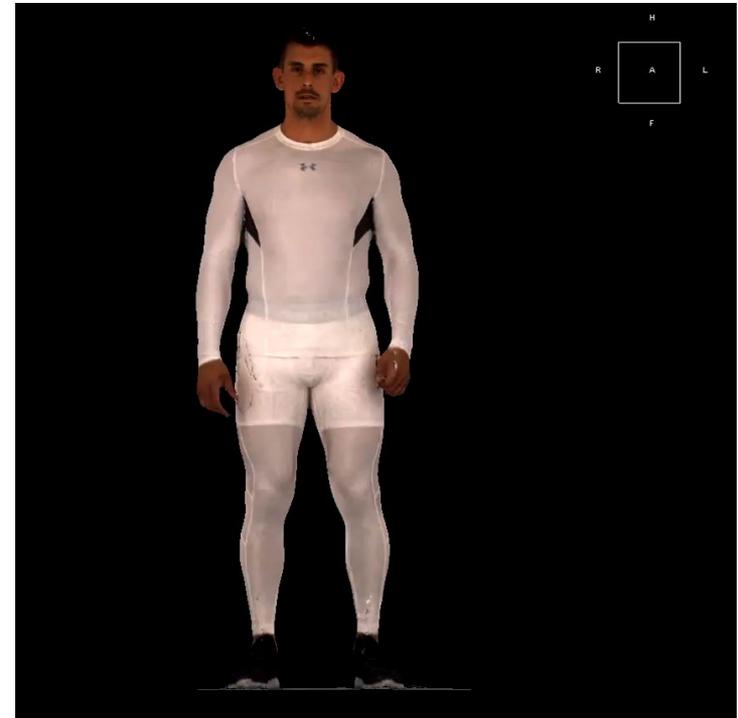
연구 배경 및 필요성

- ❑ 국가 인체 치수 측정 사업에 3차원 스캔이 포함되어 있음
- ❑ 정적 스캔 방식 사용으로 인해 실제 제품 사용 동작을 고려한 인간공학적 제품 설계에 활용하기에는 미흡함



3차원 동적 스캐너(3dMD, 3dMD, USA)

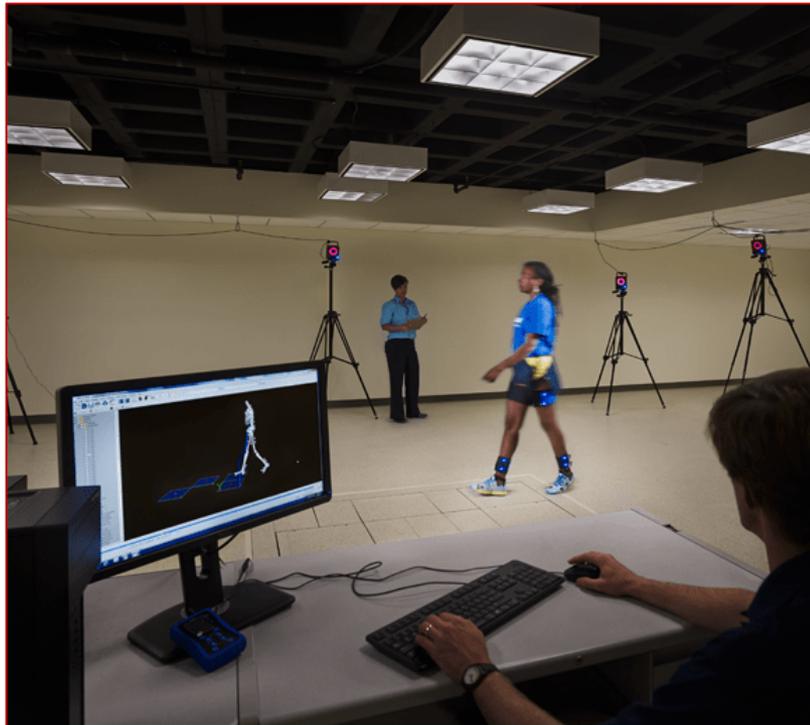
- 동적 스캔이 가능한 장비 조사
- **초당 1~120 frame 측정이 가능하여** 정적인 동작과 동적인 동작 측정 가능



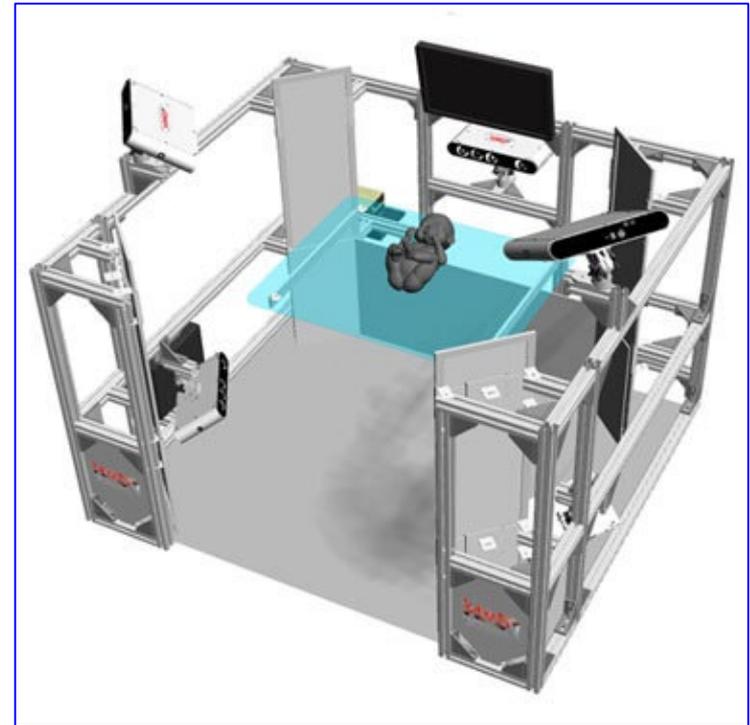
연구 목적

- **동작 측정 장비**(Motion analysis, USA)와 **3D 동적 측정 장비**(3dMD, USA)의 **측정 결과 비교**를 통한 동적 측정 장비 신뢰성 검증

동작 측정 장비 예시



3D 동적 측정 장비 예시



동작 측정 장비(Osprey, Motion analysis, USA)

□ 측정 원리

- 적외선 카메라를 이용하여 반사 마커를 포착
- 최소 2대의 적외선 카메라가 1개의 반사 마커 포착 시 데이터 수집

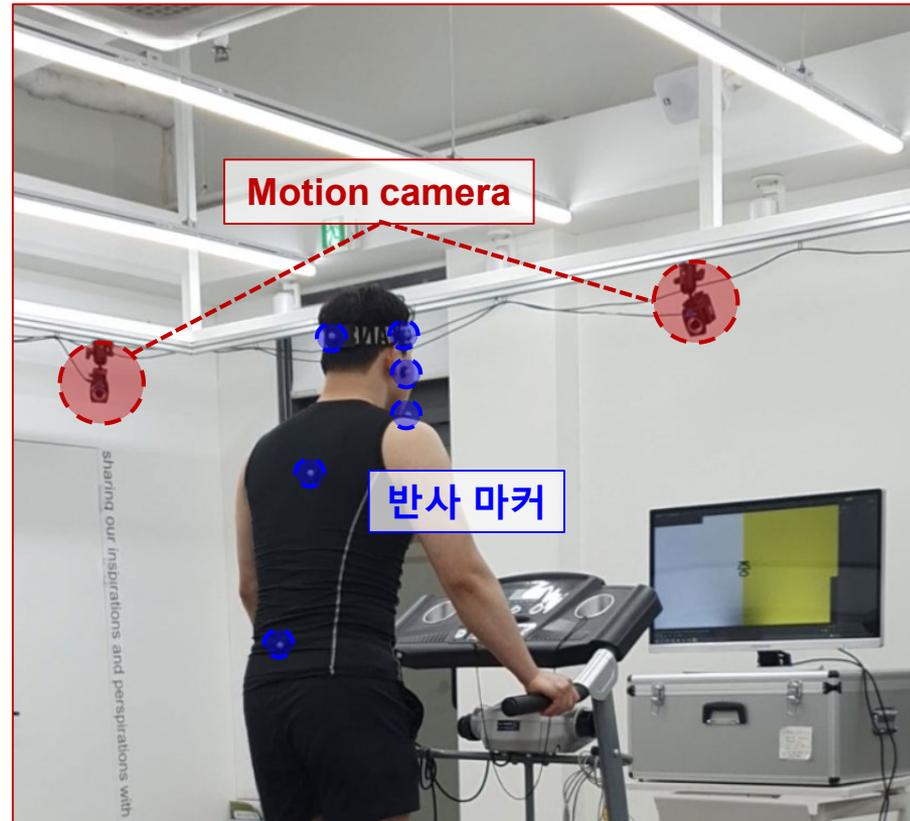
적외선 카메라: Osprey



반사 마커



측정 예시

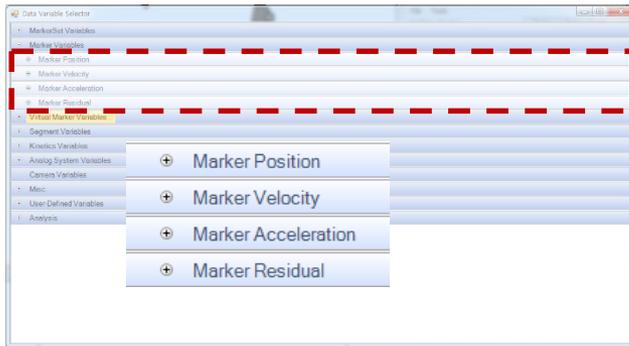


동작 분석 프로그램(Cortex, Motion analysis, USA)

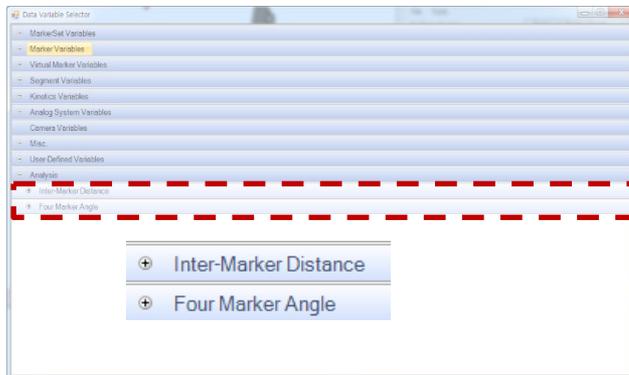
□ 분석 기능

- 개별 마커: **위치, 속도, 가속도**
- 다중 마커: **거리, 각도**

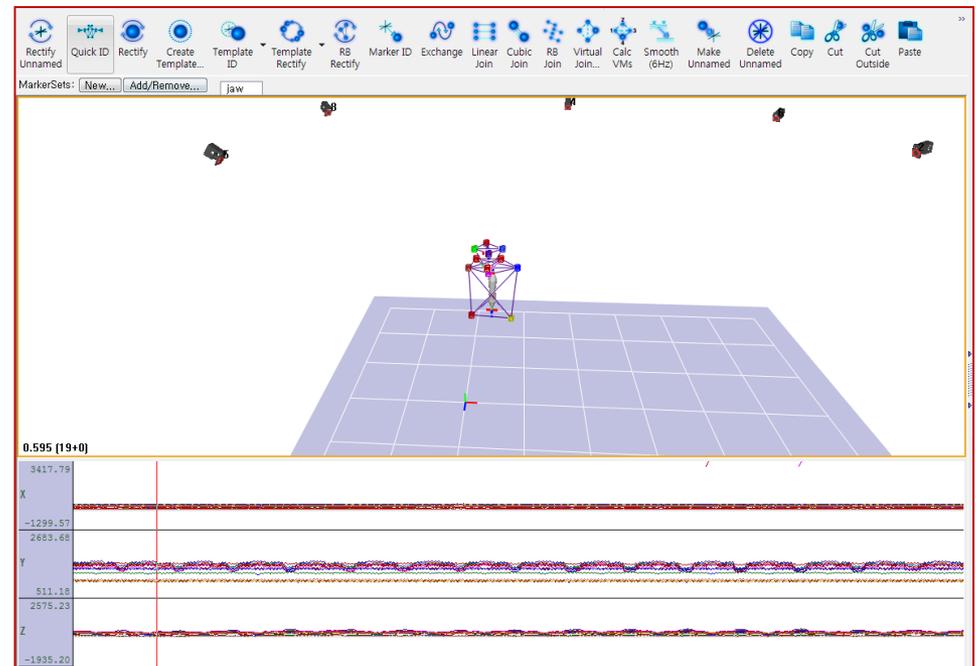
개별 마커 분석 항목



다중 마커 분석 항목



Cortex 프로그램 사용 예시



3차원 동작 측정 장비(3dMD, 3dMD, USA)

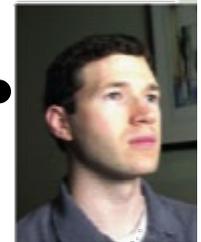
- 측정 원리: **백색광 방식**
- 특정 **패턴을 물체에 투영**하여 각 카메라가 **패턴의 변형 형태를 파악 후 데이터를 정합**



Patten 분사



BW image with speckle pattern



BW image with speckle pattern

3차원 동적 측정 장비 사용 예시



신뢰성 비교 방법 (1/2)

□ 동작 측정 장비와 3차원 동적 측정 장비를 이용한 개별 데이터 수집 후 비교

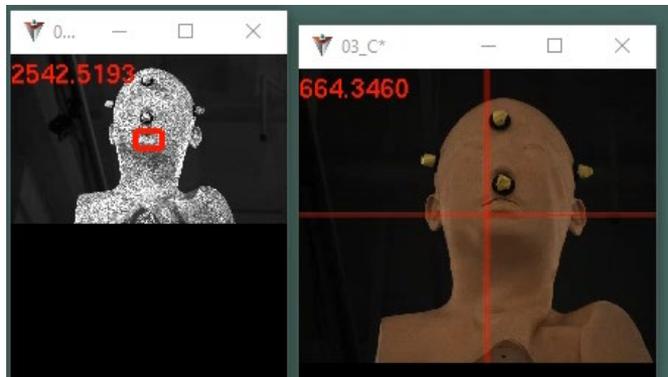
□ 데이터 수집 방법

➤ 물체: 회전각이 일정한 robotics 3회 반복 측정

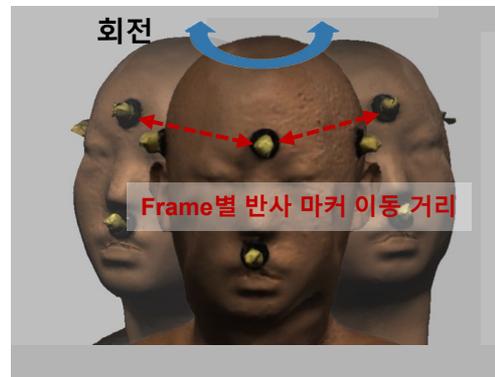
➤ 피험자: 3가지 얼굴 크기 각 3회 반복 측정

| 대상 | Size | 측정 횟수 | 특징 | 분석 방법 |
|----------|------|-------|------------|------------------------|
| Robotics | - | 3 | 가동 범위가 고정적 | Frame별 각 반사 마커 이동거리 비교 |
| 사람 | 대 | 3 | 가동 범위가 변동적 | 반사 마커 간의 거리 비교 |
| | 중 | 3 | | |
| | 소 | 3 | | |

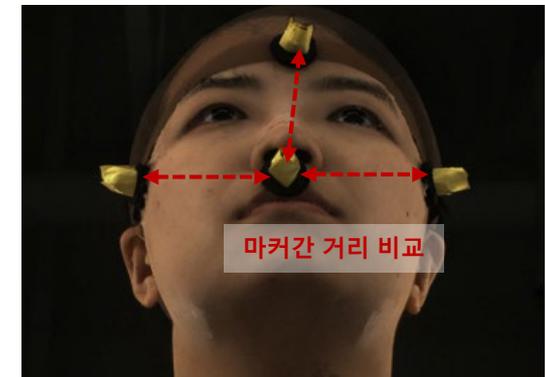
Robotics 움직임 예시



Robotics 분석 방법



피험자 분석 방법



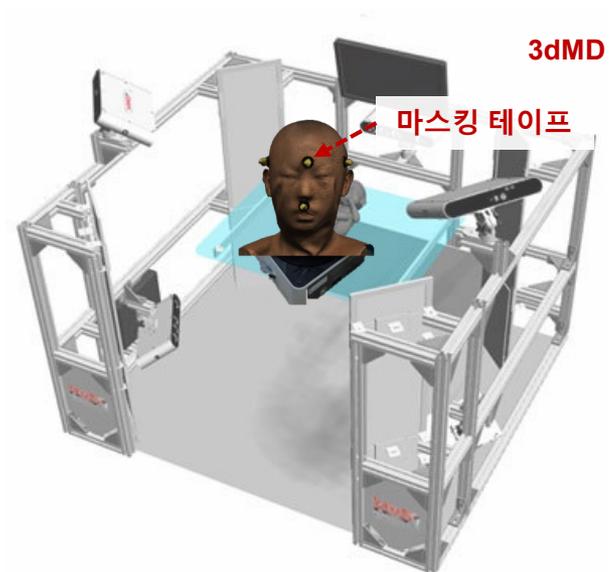
신뢰성 비교 방법 (2/2)

- 마커 개수 및 위치: **안면부 4개(좌/우 관자놀이, 미간, 인중)**
- 형태
 - 동작 측정: **반사 마커**
 - 3차원 동적 측정: 반사 마커 위 **마스킹 테이프** 부착
(반사 마커는 빛 반사로 인해 측정 불가)

동작 측정 예시



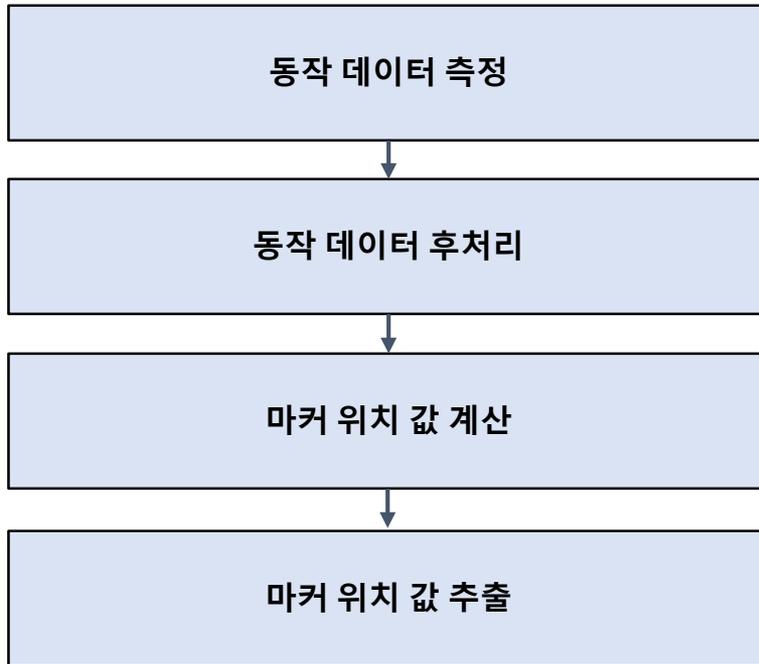
3차원 동적 측정 예시



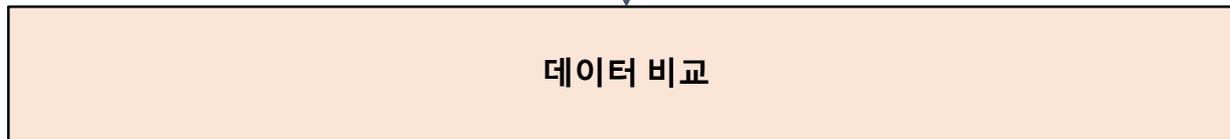
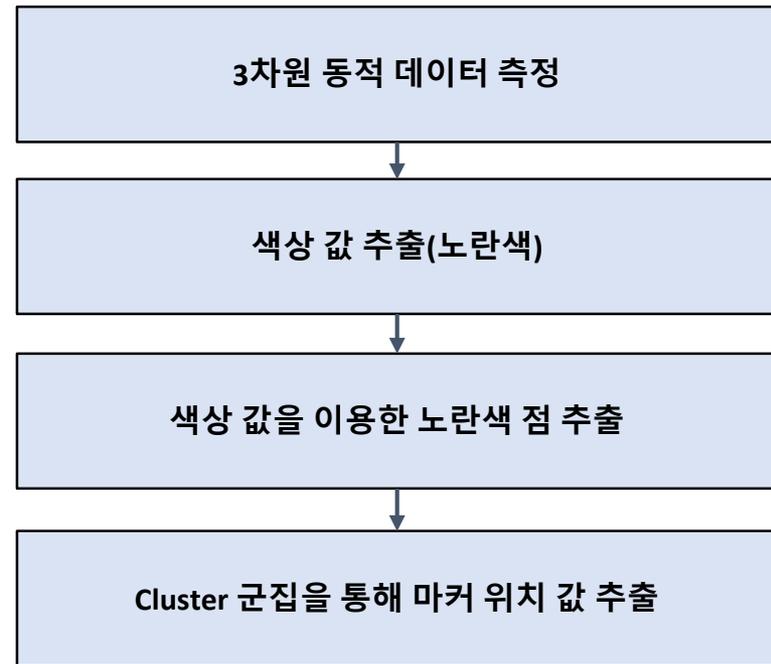
신뢰성 비교 방법 - 데이터 추출

- 동작 데이터와 3차원 동적 데이터 **추출 및 데이터 비교**

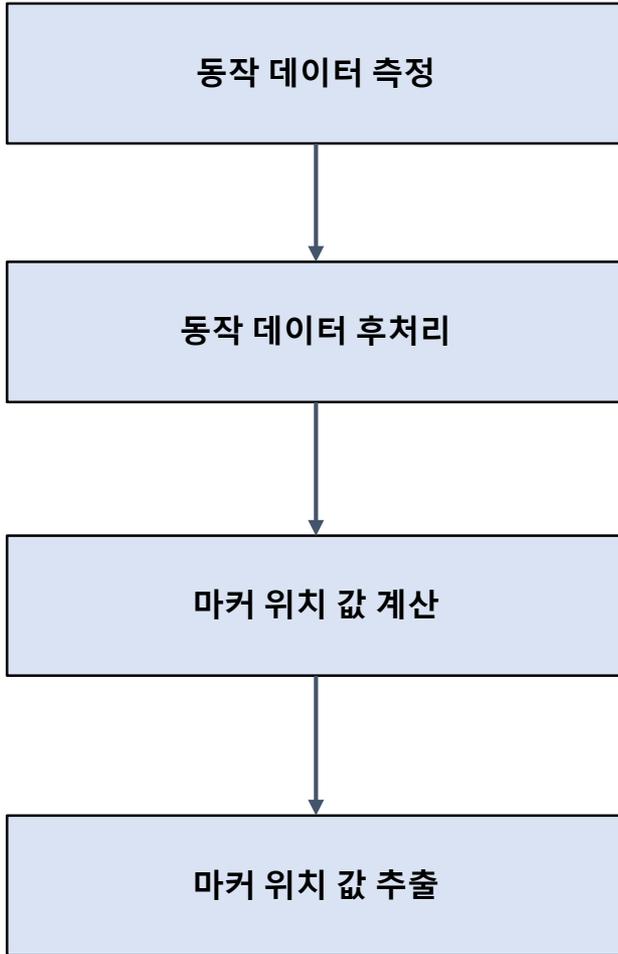
동작 데이터 추출 방법



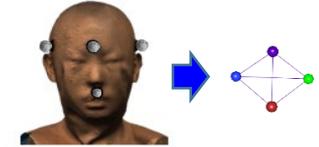
3차원 동적 데이터 추출 방법



신뢰성 비교 - 동작 데이터 추출



- 마커 부착
- Robotics: 고개 좌우 회전 데이터 측정
- 피험자: 정면 데이터 측정



- 데이터 후처리 수행
 - ✓ Quick ID: marker에 identity를 설정
 - ✓ Cubic Join: missing된 데이터를 복원
 - ✓ Smoothing: noise 데이터 제거



- Calculation: 마커의 x,y,z 좌표를 계산



- Export: X,Y,Z 좌표를 Excel 파일로 추출

| [Data] | | | | | | | |
|----------------|------------|----------|----------|-----------|----------|----------|--|
| New Graph Page | | | | | | | |
| Index | Front.Head | | | Left.Head | | | |
| | X | Y | Z | X | Y | Z | |
| 1 | 470.8752 | 1315.919 | -126.679 | 370.8176 | 1277.313 | -51.9408 | |
| 2 | 470.8222 | 1315.929 | -126.488 | 370.8176 | 1277.313 | -51.9408 | |
| 3 | 470.6663 | 1315.559 | -126.364 | 370.7875 | 1277.118 | -52.0329 | |
| 4 | 470.8222 | 1315.559 | -126.364 | 370.7875 | 1277.118 | -52.0329 | |
| 5 | 470.6663 | 1315.583 | -126.364 | 370.8176 | 1277.313 | -52.0329 | |
| 6 | 470.7386 | 1315.78 | -126.58 | 370.9409 | 1277.326 | -52.6638 | |
| 7 | 470.8222 | 1315.929 | -126.498 | 370.8948 | 1277.446 | -52.2202 | |
| 8 | 470.7386 | 1315.78 | -126.58 | 370.7875 | 1277.118 | -52.0329 | |
| 9 | 470.8222 | 1315.929 | -126.488 | 370.7875 | 1277.118 | -52.0329 | |

마커 위치 (X,Y,Z) 추출

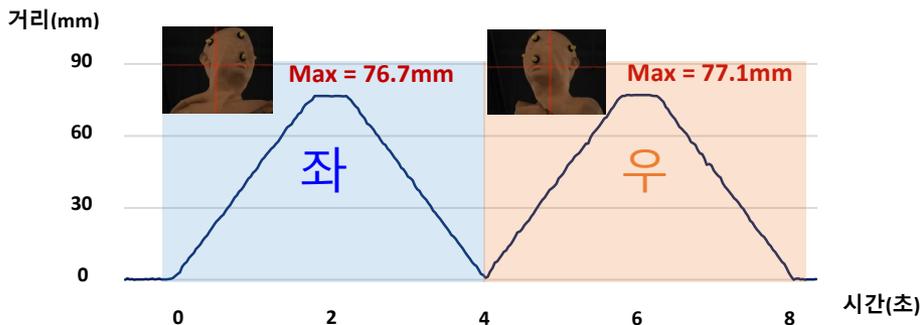
동작 데이터 분석

동작 데이터 분석 방법

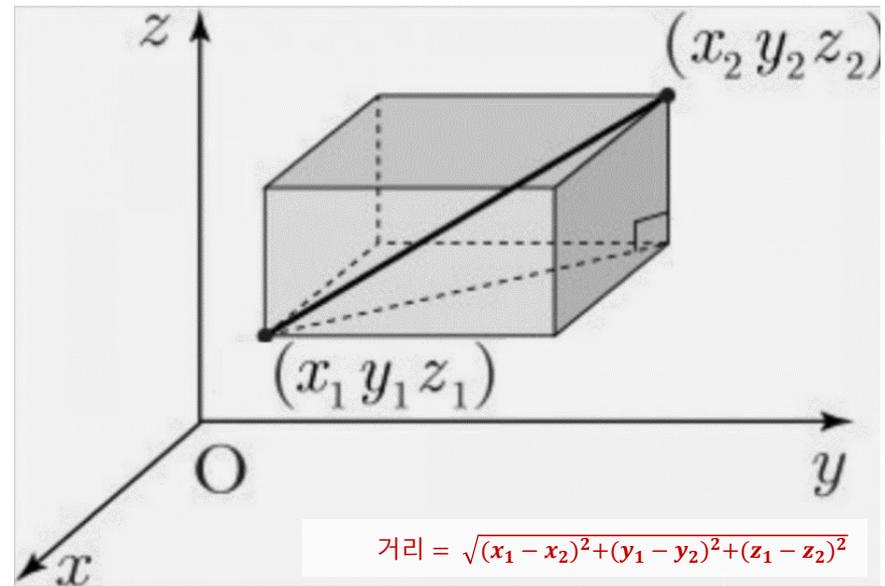
- Robotics: **Frame별 각 반사 마커 이동거리 비교**
- 피험자: **하나의 frame의 마커 간의 거리** 계산

3차원 좌표 계산: **피타고라스 정의 사용** ($\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$)

Robotics 미간 마커 이동 거리 그래프



3차원 좌표 계산법



피험자 마커 좌표 값 및 거리 계산 예시



동작 데이터 결과 – Robotics



- 2초에서 좌측 최대 이동 거리, 6초에서 우측 최대 이동 거리로 나타남
- 3회 반복 표준편차 $\leq 0.2\text{mm}$

| 신체 부위 | 회차 | 이동 거리(mm) | | | |
|------------|------|-----------|-----|------|-----|
| | | 2초 | 4초 | 6초 | 8초 |
| 미간 | 1회 | 76.7 | 0.2 | 77.1 | 0.3 |
| | 2회 | 77.1 | 0.1 | 77.5 | 0.1 |
| | 3회 | 76.9 | 0.0 | 77.3 | 0.2 |
| | 평균 | 76.9 | 0.1 | 77.3 | 0.2 |
| | 표준편차 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 좌측 관자놀이 | 1회 | 58.4 | 0.1 | 58.7 | 0.2 |
| | 2회 | 58.5 | 0.0 | 58.9 | 0.2 |
| | 3회 | 58.4 | 0.1 | 58.8 | 0.1 |
| | 평균 | 58.4 | 0.1 | 58.8 | 0.2 |
| | 표준편차 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 인중 | 1회 | 86.0 | 0.0 | 86.4 | 0.2 |
| | 2회 | 86.5 | 0.2 | 86.9 | 0.3 |
| | 3회 | 86.2 | 0.2 | 86.6 | 0.1 |
| | 평균 | 86.2 | 0.1 | 86.6 | 0.2 |
| | 표준편차 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| 우측 관자놀이 | 1회 | 59.0 | 0.1 | 59.4 | 0.2 |
| | 2회 | 59.4 | 0.0 | 59.7 | 0.0 |
| | 3회 | 59.1 | 0.0 | 59.5 | 0.1 |
| | 평균 | 59.2 | 0.0 | 59.5 | 0.1 |
| | 표준편차 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

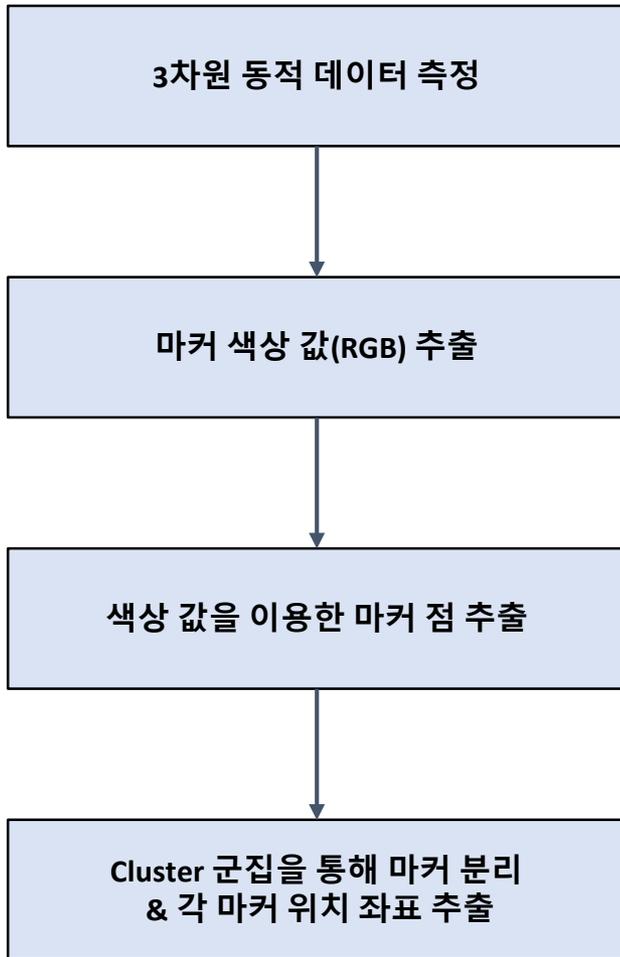
동작 데이터 결과 - 피험자



□ 마커 사이 거리 3회 반복 표준편차 ≤ 1.3mm

| | 회차 | 마커 사이 거리(mm) | | | | | |
|-------|-------|--------------|---------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| | | 미간 - 좌측 관자놀이 | 미간 - 인중 | 미간 - 우측 관자놀이 | 좌측 관자놀이 - 인중 | 좌측 관자놀이 - 우측 관자놀이 | 인중 - 우측 관자놀이 |
| 피험자 1 | 1회 | 110.6 | 114.5 | 115.5 | 120.6 | 168.2 | 119.8 |
| | 2회 | 111.6 | 116.2 | 114.9 | 121.7 | 168.8 | 119.9 |
| | 3회 | 111.0 | 115.4 | 115.0 | 120.6 | 168.6 | 120.0 |
| | 평균 | 111.1 | 115.4 | 115.1 | 121.0 | 168.5 | 119.9 |
| | 표준 편차 | 0.4 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.1 |
| 피험자2 | 1회 | 110.6 | 92.6 | 117.1 | 115.7 | 164.7 | 106.3 |
| | 2회 | 106.9 | 93.4 | 116.4 | 113.0 | 164.1 | 108.0 |
| | 3회 | 108.7 | 92.2 | 117.2 | 113.7 | 165.1 | 107.2 |
| | 평균 | 108.7 | 92.7 | 116.9 | 114.1 | 164.6 | 107.2 |
| | 표준 편차 | 1.5 | 0.5 | 0.4 | 1.1 | 0.4 | 0.7 |
| 피험자3 | 1회 | 118.2 | 126.6 | 117.8 | 128.5 | 179.4 | 130.5 |
| | 2회 | 118.0 | 124.0 | 116.5 | 127.3 | 178.4 | 127.5 |
| | 3회 | 116.5 | 123.6 | 116.2 | 126.0 | 177.3 | 128.0 |
| | 평균 | 117.6 | 124.7 | 116.8 | 127.3 | 178.4 | 128.7 |
| | 표준 편차 | 0.8 | 1.3 | 0.7 | 1.0 | 0.9 | 1.3 |

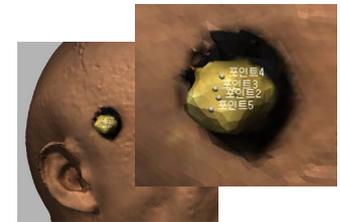
신뢰성 비교 - 3차원 동적 데이터 추출



- 노란색 마스크 테이프 부착
- Robotics: 고개 좌우 회전 데이터 측정
- 피험자: 정면 데이터 측정



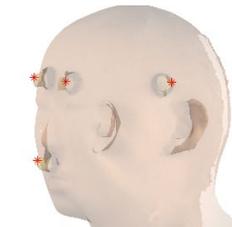
- Geomagic 프로그램을 이용한 색상 값 추출
- RGB 범위 값 확인



- Matlab을 이용한 데이터 분석
- 3차원 데이터 상 모든 노란색 좌표 값 추출



- Matlab을 이용한 데이터 분석
- Cluster 군집을 통해 마커 분리
- Marker의 가운데 위치 값 추출
- Export: X,Y,Z 좌표를 Excel 파일로 추출



동작 데이터 결과 – Robotics



- 2초에서 좌측 최대 이동 거리, 6초에서 우측 최대 이동 거리로 나타남
- 3회 반복 표준편차 $\leq 2.6\text{mm}$

| 신체 부위 | 회차 | 이동 거리(mm) | | | |
|------------|------|-----------|-----|------|-----|
| | | 2초 | 4초 | 6초 | 8초 |
| 미간 | 1회 | 81.6 | 0.2 | 82.0 | 0.3 |
| | 2회 | 75.6 | 0.4 | 76.0 | 0.4 |
| | 3회 | 76.5 | 0.3 | 76.9 | 0.1 |
| | 평균 | 77.9 | 0.3 | 78.3 | 0.3 |
| | 표준편차 | 2.6 | 0.1 | 2.6 | 0.1 |
| 좌측 관자놀이 | 1회 | 58.4 | 0.3 | 58.4 | 0.4 |
| | 2회 | 57.1 | 0.4 | 58.6 | 0.2 |
| | 3회 | 58.8 | 0.2 | 58.4 | 0.1 |
| | 평균 | 58.1 | 0.3 | 58.5 | 0.2 |
| | 표준편차 | 0.7 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 인중 | 1회 | 89.4 | 0.4 | 89.8 | 0.3 |
| | 2회 | 87.5 | 0.2 | 86.1 | 0.4 |
| | 3회 | 88.4 | 0.1 | 87.9 | 0.2 |
| | 평균 | 88.4 | 0.2 | 87.9 | 0.3 |
| | 표준편차 | 0.8 | 0.1 | 1.5 | 0.1 |
| 우측 관자놀이 | 1회 | 59.5 | 0.3 | 59.7 | 0.4 |
| | 2회 | 54.4 | 0.4 | 55.0 | 0.3 |
| | 3회 | 56.7 | 0.1 | 57.7 | 0.2 |
| | 평균 | 56.9 | 0.3 | 57.5 | 0.3 |
| | 표준편차 | 2.1 | 0.1 | 1.9 | 0.1 |

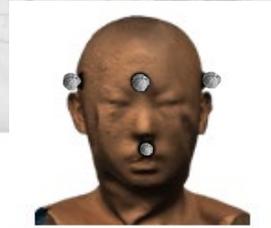
동작 데이터 결과 - 피험자



□ 마커 사이 거리 3회 반복 표준편차 ≤ 1.8mm

| | 회차 | 마커 사이 거리(mm) | | | | | |
|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| | | 미간 - 좌측 관자놀이 | 미간 - 인중 | 미간 - 우측 관자놀이 | 좌측 관자놀이 - 인중 | 좌측 관자놀이 - 우측 관자놀이 | 인중 - 우측 관자놀이 |
| 피험자 1 | 1회 | 111 | 115 | 114.3 | 123.9 | 170.2 | 119.2 |
| | 2회 | 115 | 115.3 | 116.2 | 121.4 | 167.9 | 118.8 |
| | 3회 | 113 | 116.4 | 117.1 | 121.9 | 168.3 | 118.4 |
| | 평균 | 113 | 115.6 | 115.9 | 122.4 | 168.8 | 118.8 |
| | 표준 편차 | 1.6 | 0.6 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 0.3 |
| 피험자2 | 1회 | 108.3 | 91.5 | 115.9 | 114.5 | 165.8 | 111.1 |
| | 2회 | 106.2 | 90.2 | 115.4 | 114.8 | 166.0 | 108.6 |
| | 3회 | 109.7 | 93.2 | 116.5 | 114.3 | 166.8 | 107.4 |
| | 평균 | 108.1 | 91.6 | 115.9 | 114.5 | 166.2 | 109.0 |
| | 표준 편차 | 1.4 | 1.2 | 0.5 | 0.2 | 0.4 | 1.5 |
| 피험자3 | 1회 | 117.2 | 125.1 | 117.1 | 123 | 175.3 | 128.4 |
| | 2회 | 117.8 | 124.8 | 116.2 | 126.8 | 179.6 | 129.8 |
| | 3회 | 117.3 | 124.3 | 119.8 | 126.4 | 177.8 | 128.6 |
| | 평균 | 117.4 | 124.7 | 117.7 | 125.4 | 177.6 | 128.9 |
| | 표준 편차 | 0.2 | 0.3 | 1.5 | 1.7 | 1.8 | 0.6 |

신뢰성 비교: Robotics



- 우측 관자놀이 2초에서 가장 큰 오차 발생(2.3mm)
- 전체 오차(mean \pm SD)= **0.7mm \pm 0.8**

| 신체 부위 | 회차 | 이동 거리(mm) | | | |
|---------|--------|-----------|-----|------|-----|
| | | 2초 | 4초 | 6초 | 8초 |
| 미간 | 동작 | 76.9 | 0.1 | 77.3 | 0.2 |
| | 3차원 동적 | 77.9 | 0.2 | 78.3 | 4 |
| | 오차 | 1 | 0.2 | 1 | 0.1 |
| 좌측 관자놀이 | 동작 | 58.4 | 0.1 | 58.8 | 0.2 |
| | 3차원 동적 | 58.1 | 2.2 | 58.8 | 3.2 |
| | 오차 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0 |
| 인중 | 동작 | 86.2 | 0.1 | 86.6 | 0.2 |
| | 3차원 동적 | 88.4 | 4.3 | 87.9 | 4.2 |
| | 오차 | 2.2 | 0.1 | 1.3 | 0.1 |
| 우측 관자놀이 | 동작 | 59.2 | 0 | 59.5 | 0.1 |
| | 3차원 동적 | 56.9 | 3.4 | 57.5 | 3.1 |
| | 오차 | 2.3 | 0.3 | 2 | 0.2 |

신뢰성 비교: 피험자



□ 미간과 좌측 관자놀이 사이 가장 큰 오차 발생(1.9mm)

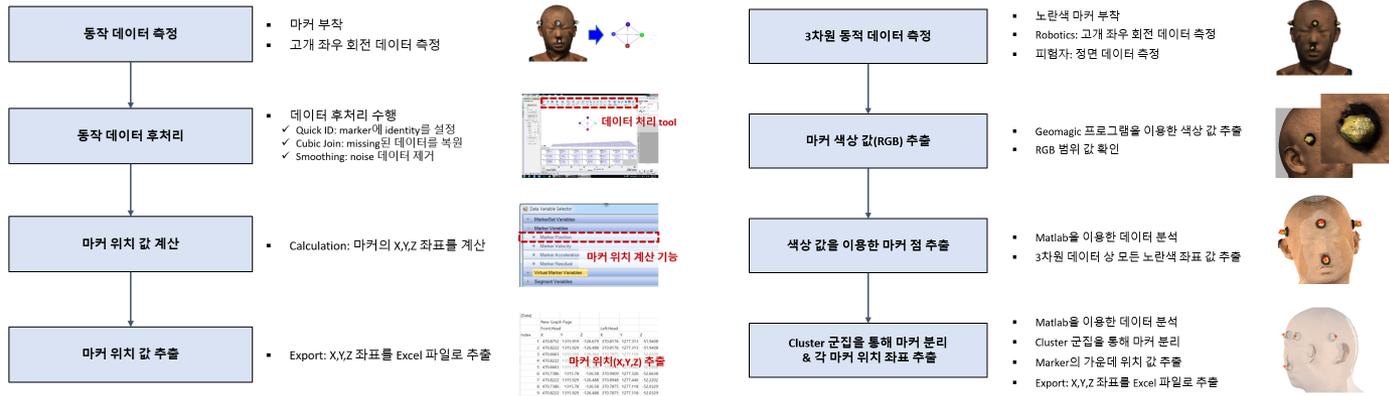
□ 전체 오차 평균(mean \pm SD) = **0.9mm \pm 0.6**

| | 측정 방법 | 마커 사이 거리(mm) | | | | | |
|-------|--------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| | | 미간 - 좌측 관자놀이 | 미간 - 인중 | 미간 - 우측 관자놀이 | 좌측 관자놀이 - 인중 | 좌측 관자놀이 - 우측 관자놀이 | 인중 - 우측 관자놀이 |
| 피험자 1 | 동작 | 111.1 | 115.4 | 115.1 | 121 | 168.5 | 119.9 |
| | 3차원 동적 | 113 | 115.6 | 115.9 | 122.4 | 168.8 | 118.8 |
| | 오차 | 1.9 | 0.2 | 0.8 | 1.4 | 0.3 | 1.1 |
| 피험자2 | 동작 | 108.7 | 92.7 | 116.9 | 114.1 | 164.6 | 107.2 |
| | 3차원 동적 | 108.1 | 91.6 | 115.9 | 114.5 | 166.2 | 109 |
| | 오차 | 0.6 | 1.1 | 1 | 0.4 | 1.6 | 1.8 |
| 피험자3 | 동작 | 117.6 | 124.7 | 116.8 | 127.3 | 178.4 | 128.7 |
| | 3차원 동적 | 117.4 | 124.7 | 117.7 | 125.4 | 177.6 | 128.9 |
| | 오차 | 0.2 | 0 | 0.9 | 1.9 | 0.8 | 0.2 |

Discussion

□ 요약

- 동작 측정과 3차원 동적 측정 방법 제시
- 동작 데이터와 3차원 동적 데이터 추출 방법 제시
- 신뢰성 비교 분석 방법 제시



□ Contribution

- 3차원 동적 측정 장비의 신뢰성 확인을 통해 국가 인체 치수 사업에 3차원 동적 측정 장비 활용 가능성을 확인
- 동적 측정 장비 활용 시 인간공학적 제품 설계에 활용 할 수 있는 대규모 3차원 데이터 획득 기회를 제공

경청해 주셔서 감사합니다.

