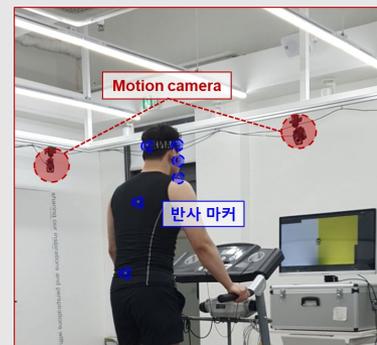
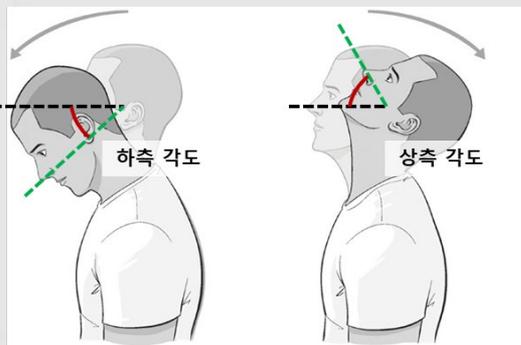


마스크 성능 평가 시 머리 동작 분석



정영제¹, 전은진¹, 김민재¹, 유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과

본 과제는 식약처 지원사업의 지원(21172화의안172)에 의해 수행 되었습니다.

Contents

- 서론
 - 연구 배경 및 필요성
 - 연구 목적
- 측정 Protocol
 - 실험 참여자 및 수행 작업
 - 평가 장비
 - 측정 변수 및 Marker 부착
 - Guide 영상 및 실험 환경
- 분석 Protocol
 - 데이터 후처리
 - 데이터 추출
- 분석 결과

연구 배경 및 필요성

- **마스크 누설률**(방진 효율) **평가**는 **실제 사람을 대상**으로 평가를 진행함
- 실제 사람 대상으로 평가 시 모집 인원_{에 따라} **안면 형상의 다름**으로 인해 **정확한 평가**에 **어려움**이 있음

마스크 누설률 예시

마스크 누설률 평가 예시



마스크 누설률 평가

□ 평가 방법: 시험 대상자가 **런닝머신 위에서 6km/h로 걸으며 2분간 3개 동작 수행**

- 한글로 된 문장으로 소리 내어 발화
- 고개를 좌우로 15회 움직임
- 고개를 상하로 15회 움직임

마스크 누설률 평가 가이드라인

(다) 가능한 한 염화나트륨 에어로졸이 챔버의 꼭대기로 들어가도록 하고, 그 속도는 최소한 초당 0.12 m의 속도로 시험대상자의 머리 위로 직접 흘러내리도록 한다. 염화나트륨 에어로졸의 농도는 균일해야 하고, 속도는 시험대상자 머리의 가까운 위치에서 측정되어야 한다.

(3) 런닝머신 : 누설률 챔버 내에 설치된 런닝머신은 6 km/h에서 작동할 수 있는 수준이어야 한다.

(4) 시험용 검체 연결부 : 시험용 검체와 염화나트륨 농도 및 흡기/배기 시간 측정 장치와의 연결 부분에는 시험용 검체 연결부가 사용되며 초경량 연결호스에 의하여 청정공기가 공급되도록 하여야 한다. 염화나트륨 농도 및 흡기/배기 시간 측정장치의 프로브는 시험용 검체의 중앙 부분에 최대한 가깝고 공기가 새지 않도록 장착하여야 한다. 시험용 검체에 부착되는 청정공기 호스는 시험용 검체 장착 후에 시험에 영향을 주지 않아야 하며, 필요하다면 호스를 고정시킨다.

(5) 챔버 내에 염화나트륨 에어로졸이 시험에 적절한 농도로 채워진 것을 확인한다.

(6) 시험대상자가 다음의 운동을 계속 걸으면서 실시한다.

㉑ 머리를 움직이거나 말하지 않고 2 분 동안 걷는다.

㉒ 터널의 벽면을 조사하는 것처럼 머리를 좌우로 약 2 분 동안 15 번 정도 움직인다.

㉓ 지붕과 바닥을 조사하는 것처럼 머리를 위 아래로 약 2 분 동안 15 번 정도 움직인다.

㉔ 2 분 동안 한글로 된 문장을 큰소리로 말한다.

㉕ 머리를 움직이거나 말하지 않고 2 분 동안 걷는다.

(7) ㉑ ~ ㉕ 운동 각각의 마스크 내부의 염화나트륨 에어로졸의 평균농도를 구하여 누설률을 기록한다.

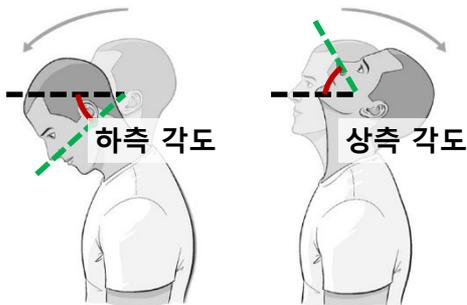
(8) 염화나트륨 에어로졸의 공급을 중단하고 챔버를 환기시킨 후 시험자를 나오게 한다.

※ 출처: 보건용 마스크의 기준 규격에 대한 가이드라인 기준, 식품의약품안전처, 2019. 12

연구 목적

- 마스크 누설을 평가 시 **목/턱 움직임 각도 정량화**
- 누설률 평가를 위한 **로보틱스 제작에 기반 자료로 활용**하고자 함

목/턱 움직임 각도 예시



NIOSH 헤드폼 로보틱스



측정 Protocol - 실험 참여자 및 수행 작업

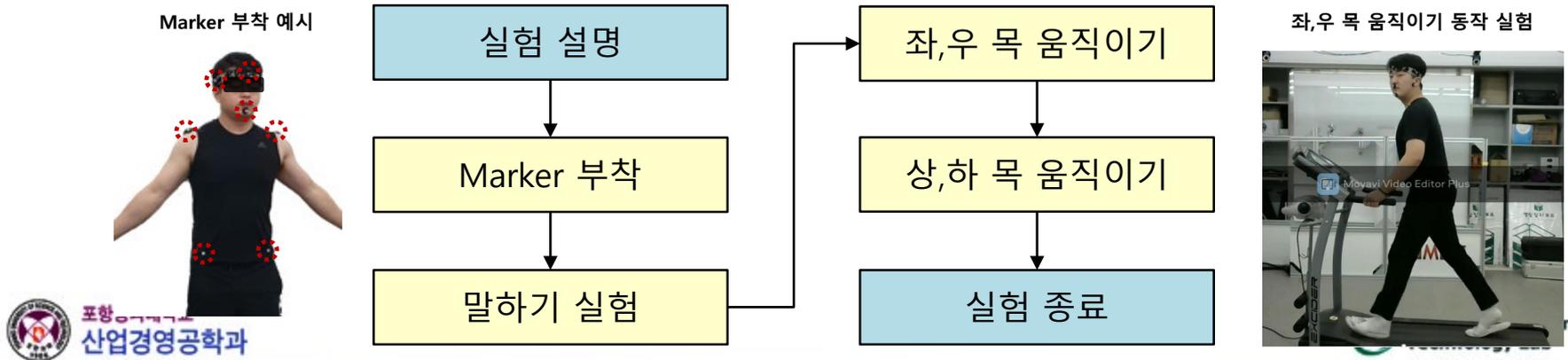
□ 실험 참여자

- 실험 인원: **40명**(남 20명, 여 20명)
- 연령: **20~50세**
- 모집 조건: **근골격계 질환이 없는 자**

□ 수행 작업: 피험자가 런닝머신 위에서 6km/h로 걸으며 동작 수행

- **말하기** (2분 동안 애국가 발화)
- **좌,우 목 움직임기**(8초에 1회, 2분)
- **상,하 목 움직임기**(8초에 1회, 2분)

목/턱 동작 정량화 평가 실험 절차



측정 Protocol - 측정 변수

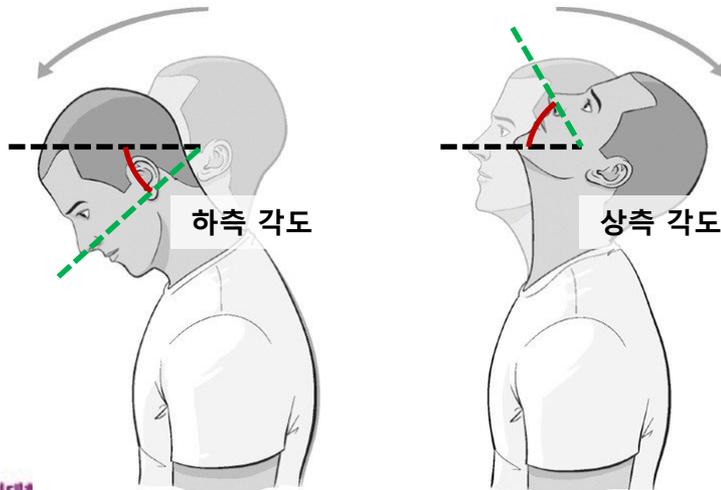
□ 목 회전각

- 목 상하 각도: 몸통 기준 **목 상하 회전각**
- 목 좌우 각도: 몸통 기준 **목 좌우 회전각**

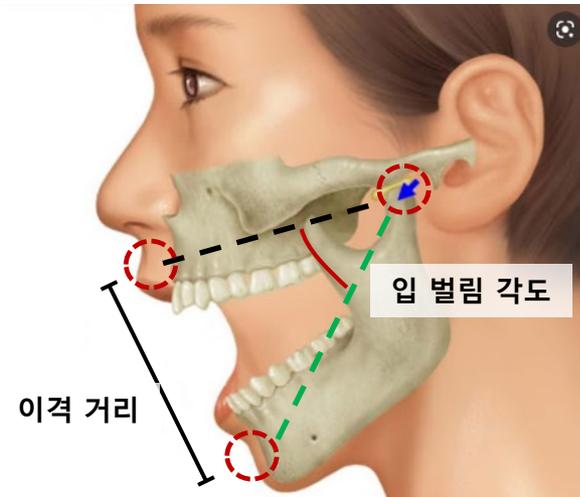
□ 턱 이격 거리 및 각도

- 거리 측정: **인중과 턱 사이 거리**
- 각도 측정: 턱 관절 기준 턱에 **입 벌림 각도**

상측/하측 목 각도 측정



턱 이격 거리 및 각도 측정



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

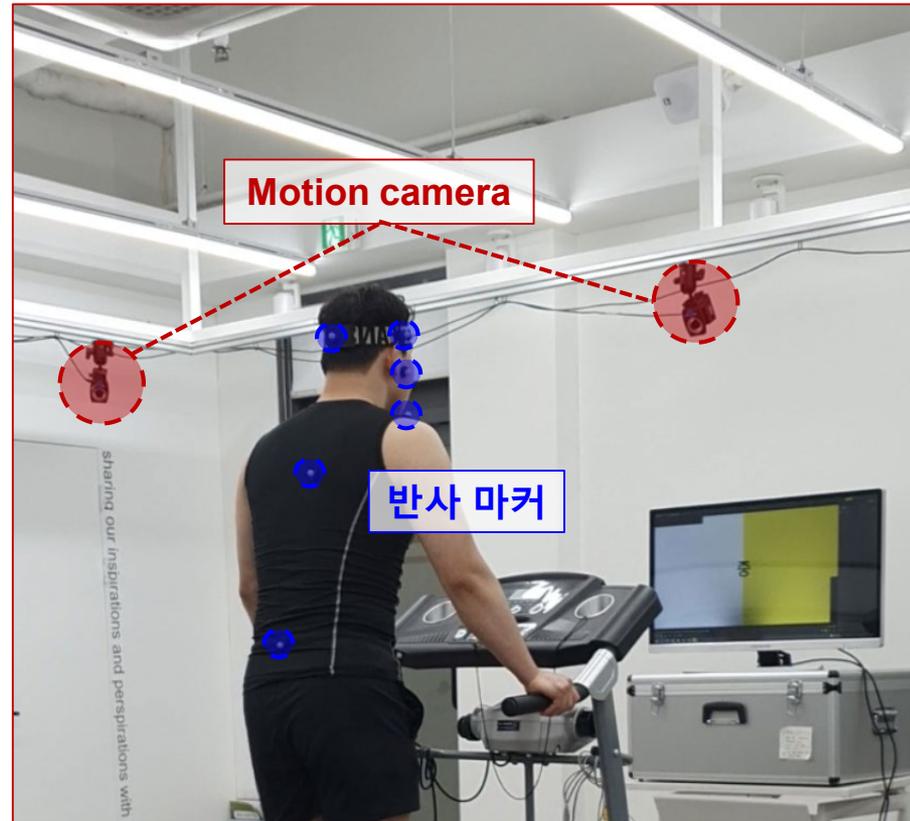
적외선 카메라: Osprey



반사 마커



측정 예시

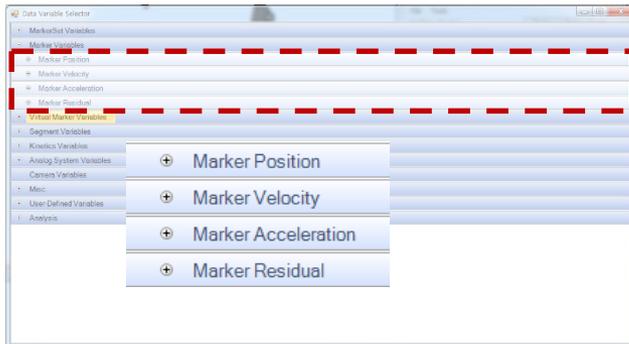


동작 측정 및 분석 프로그램(Cortex, Motion analysis, USA)

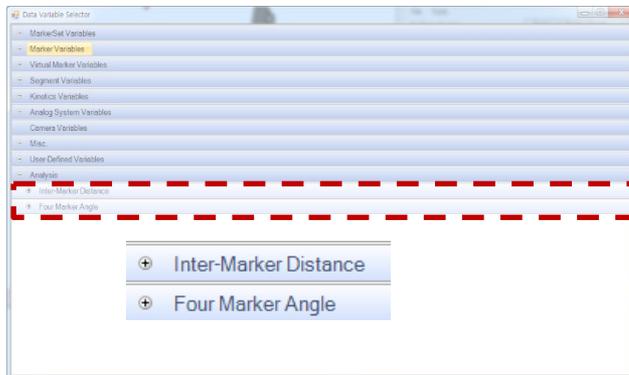
□ 분석 기능

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

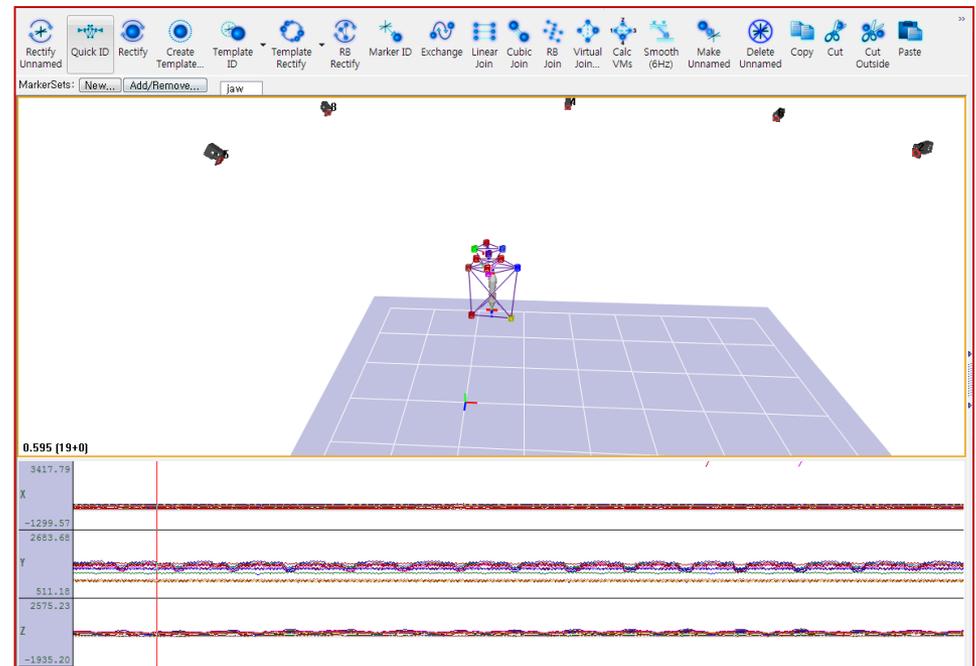
개별 마커 분석 항목



다중 마커 분석 항목



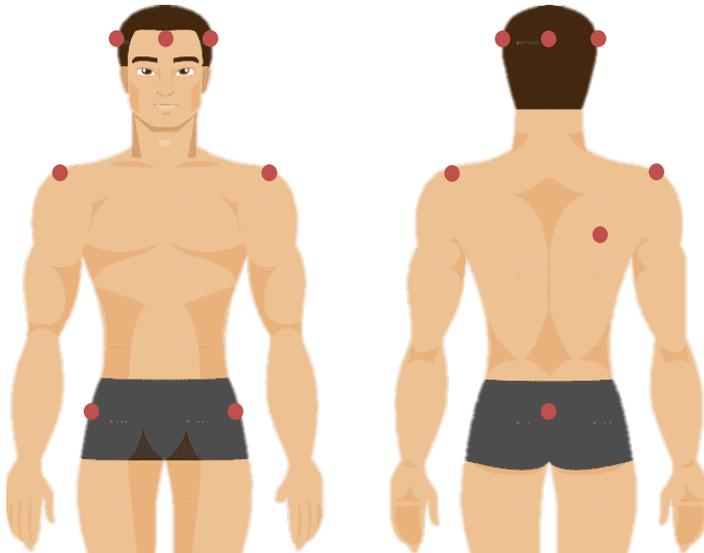
Cortex 프로그램 사용 예시



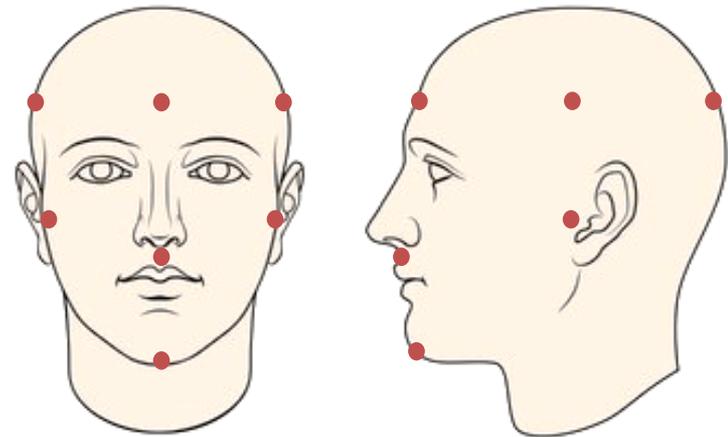
측정 Protocol – 마커 부착

- 마커 총 개수: 14개 (머리 앞/뒤/좌/우 중복)
- 목 각도 측정용 마커(10개) 위치
 - 머리 앞/뒤, 머리 좌/우, 어깨 좌/우, 골반 좌/우, 우측 날개뼈, 엉치뼈
- 턱 움직임 측정용 마커(8개) 위치
 - 머리 앞/뒤, 머리 좌/우, 턱관절 좌/우, 인중, 턱

목 동작 측정용 마커 위치



턱 동작 측정용 마커 위치



측정 Protocol – Guide 영상

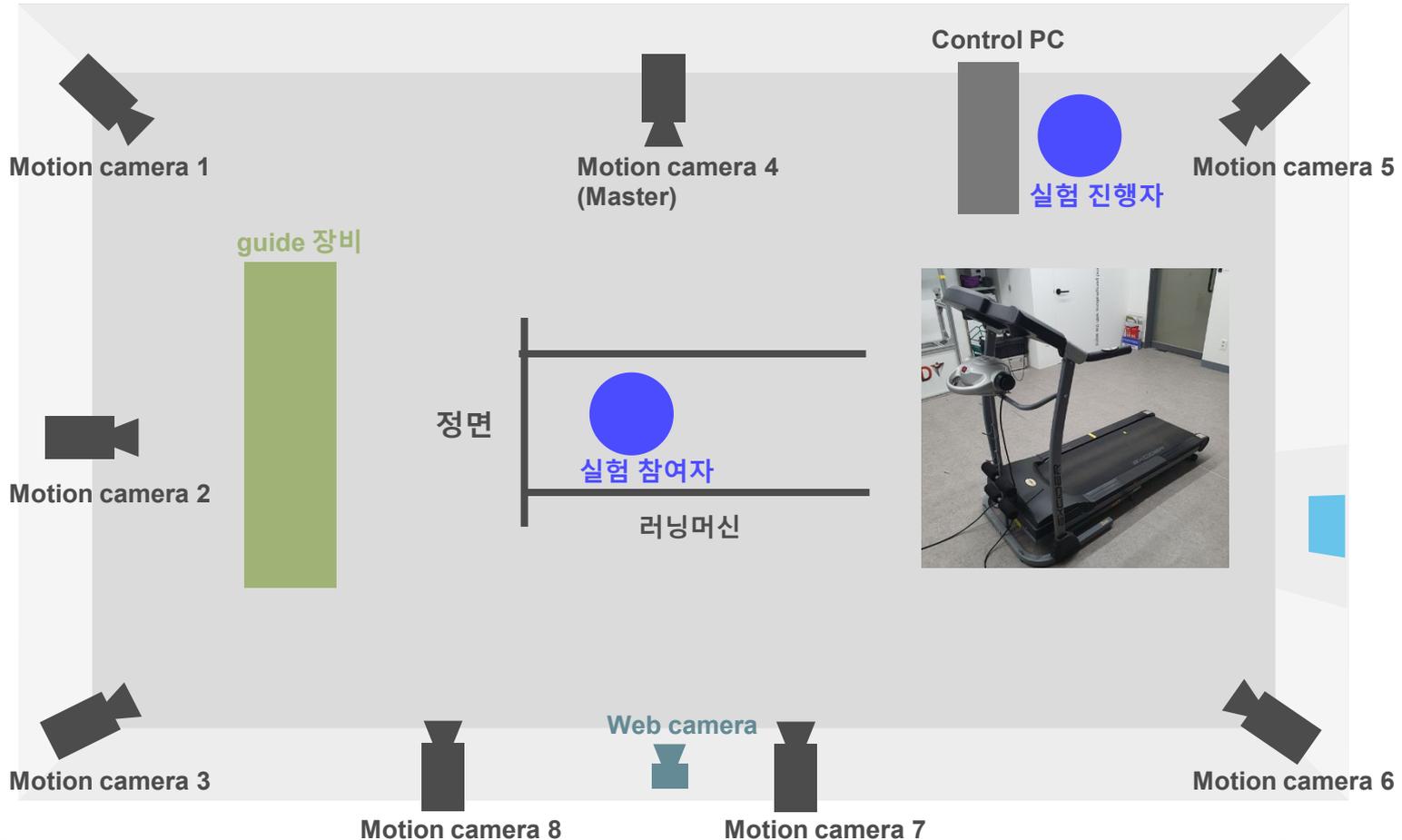
- 측정 시 **동작 일관성 및 원활한 실험 진행을 위한 guide 영상 제공**
 - **고개 움직임 횟수 통제**를 위한 **메트로놈 소리** 삽입
- 말하기, 좌우, 상하용 개별 영상 제작
- 영상 내용: 실험 설명 → 방법 설명 → 연습 → 본 실험 → 종료

2. 좌우 실험

실험은 2분 동안 진행되며 메트로놈 소리에 맞춰 고개를 좌우로 움직여 주시면 됩니다.

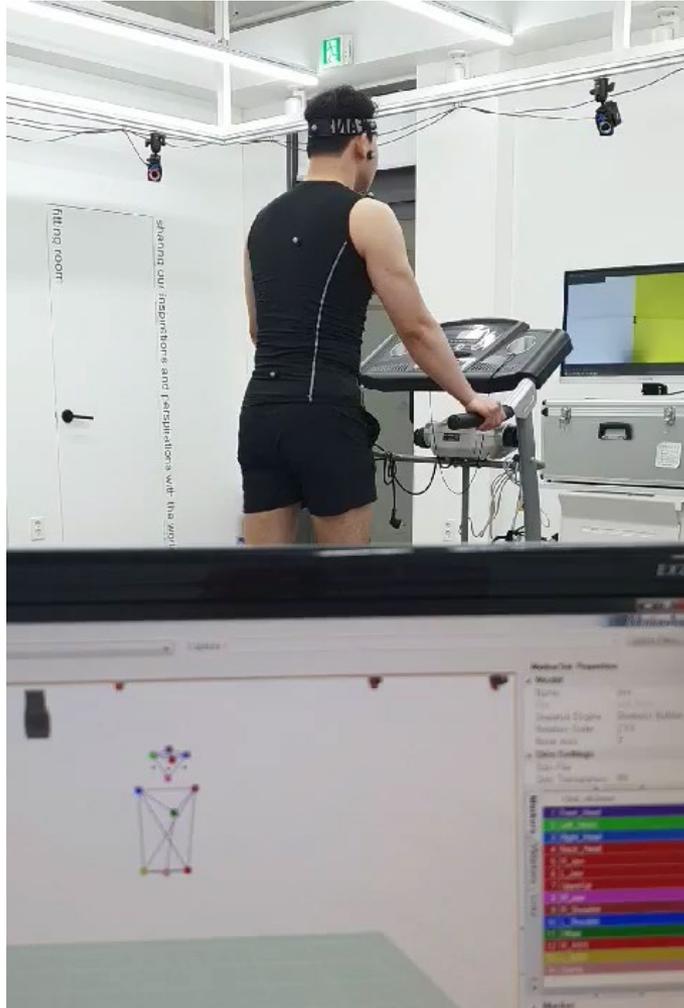
측정 Protocol – 실험 환경

- Motion camera: **Osprey 8대**
- 러닝머신: Excider-ew-701 (중산물산, 한국)

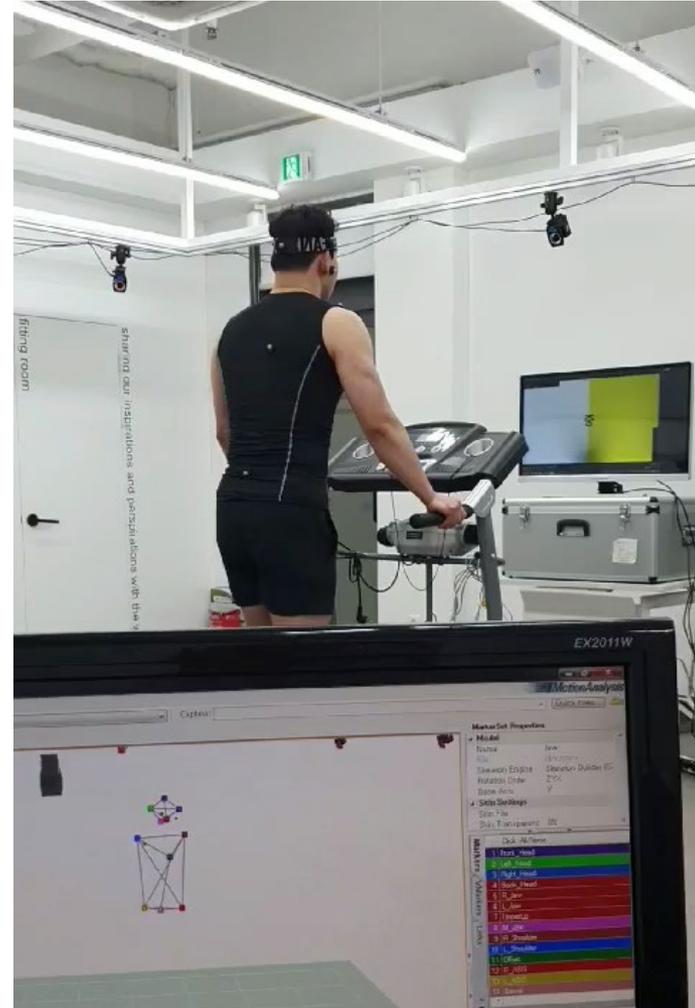


실험 영상

고개 좌/우 동작



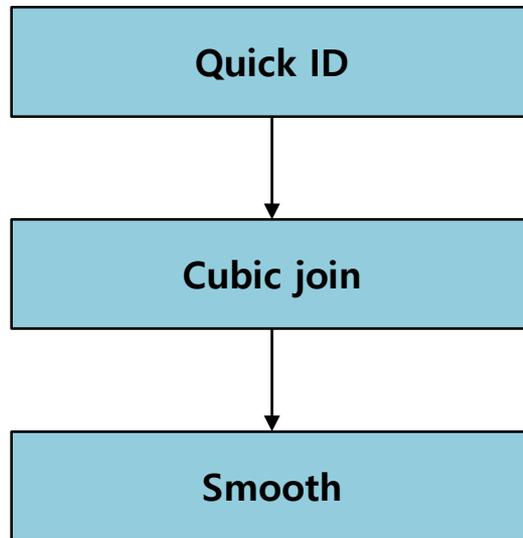
고개 상/하 동작



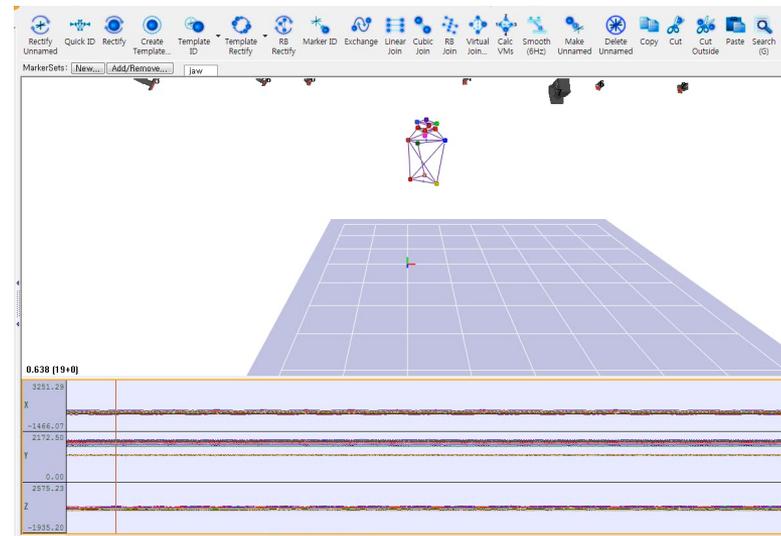
분석 Protocol - 데이터 후처리

- 측정된 동작을 **Cortex 프로그램**을 이용하여 **후처리**를 진행
- Quick ID, Cubic join, Smooth 순서로 데이터를 후처리
 - Quick ID: **marker에 ID를 지정**
 - Cubic join: **missing된 marker를 연결**
 - Smooth: **noise data를 제거**

데이터 후처리 절차



후처리 진행 후 데이터 예시



분석 Protocol - 데이터 추출

- 각도 및 거리 데이터 추출을 위한 **graph 생성**
- 각도 및 거리 **데이터 추출**(데이터 형식: '.data', Excel 프로그램 내 확인 가능)

Cortex 데이터 추출 화면 예시

The screenshot displays the Cortex software interface with several key components highlighted:

- Data Variable Selector:** A panel on the left showing a tree view of variables. It is annotated with labels: "기준 Marker set" (Standard Marker set) pointing to the 'Marker set' section, "측 계산 순서" (Calculation order) pointing to the 'Segment Rotation' section, "알고 싶은 segment" (Segment I want to know) pointing to the 'Segment Length' section, "기준 segment" (Standard segment) pointing to 'Head', and "측정하고자 하는 축" (Axis to be measured) pointing to the 'Z' axis.
- Graph Setting Window:** A window titled "Graph 설정 창" (Graph Setting Window) is overlaid on the interface. It shows a menu with options like "Save Graph Data..." and "Save Graph Data - Selected Range...". The "Save Graph Data..." option is highlighted with a red dashed box, and the text "데이터 추출" (Data Extraction) is written in large red characters next to it.
- Data Variable Window:** A window titled "Data Variable" is shown, containing a table of statistics for the selected variable 'Head':

| Statistics | Value |
|------------|---------------|
| Minimum | -11.353776 |
| Maximum | 9.696262 |
| Mean | -0.0150676919 |
| StdDev | 4.043373 |
- Main Graph:** A large graph window displays a green waveform representing the angular and distance data for the 'Head' segment over time. The x-axis represents time from 0 to 7500 frames, and the y-axis represents the measured value. The text "각도 및 거리 데이터 graph" (Angle and distance data graph) is overlaid on the graph.

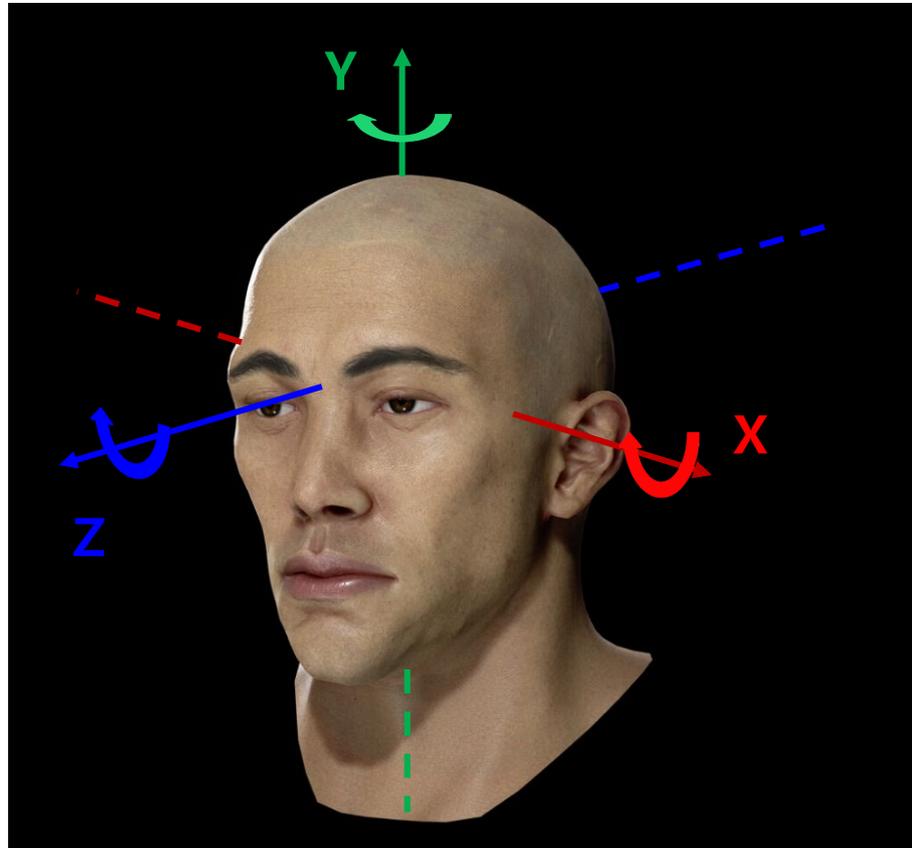
분석 Protocol - 회전축 설정

□ 각도 데이터상 **상하 움직임은 X축**, **좌우 움직임은 Y축**을 이용하여 분석

➤ X축 : 목 상측/하측 각도, 턱 각도

➤ Y축 : 목 좌측/우측 각도

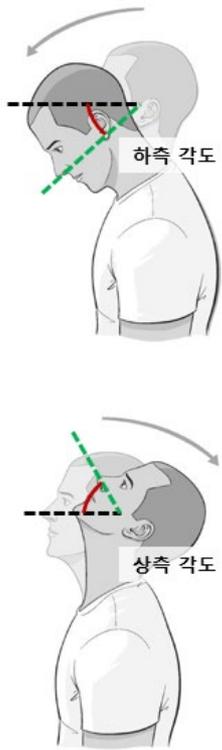
회전 각도 분석 축 예시



데이터 추출 결과 예시

- 목 회전각과 턱 벌어짐 각도 측정을 위한 **목과 턱 X,Y,Z 축 각도 추출**
- 턱 이격 거리 측정을 위한 **턱과 인중 이격 거리 추출**

추출 데이터 예시



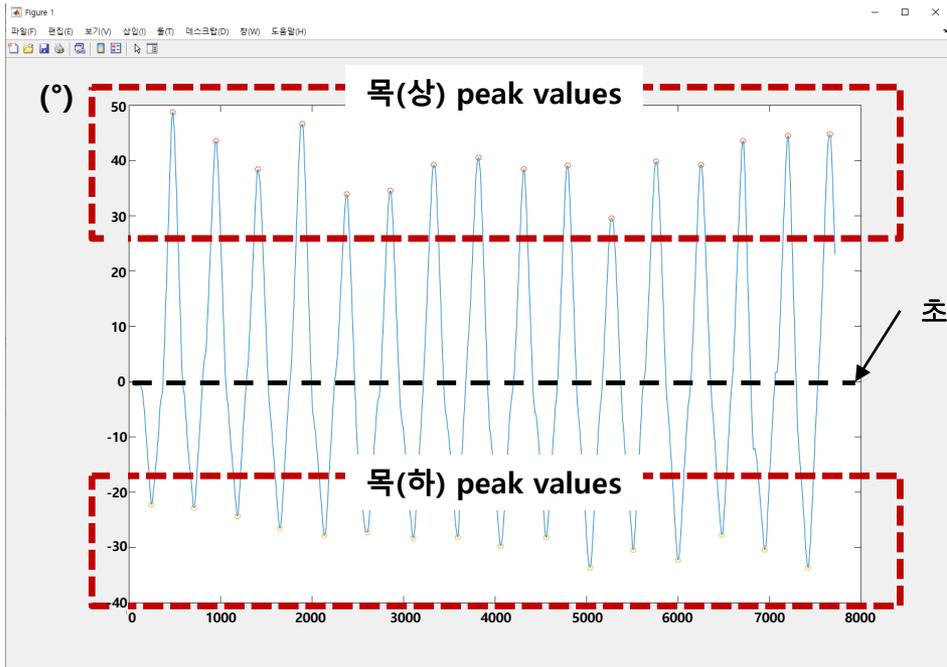
| [Data] | 목 회전 각도 | | | 턱과 인중 이격 거리 | 입 벌림 각도 | | |
|--------|----------------|-----|------|----------------|---------|------|------|
| | New Graph Page | | | Graph 2 | jaw | | |
| Index | X | Y | Z | Series | X | Y | Z |
| 1 | -116.4 | 5.7 | -7.6 | 55.2 | 60.0 | -1.4 | -2.5 |
| 2 | -116.9 | 5.7 | -7.4 | 54.9 | 60.2 | -1.6 | -2.4 |
| 3 | -117.3 | 5.6 | -7.1 | 54.6 | 60.4 | -1.6 | -2.2 |
| 4 | -117.4 | 5.6 | -6.8 | 54.5 | 60.5 | -1.6 | -2.1 |
| 5 | -117.2 | 5.6 | -6.6 | 54.4 | 60.6 | -1.6 | -2.1 |
| 6 | -116.7 | 5.7 | -6.4 | 54.3 | 60.5 | -1.6 | -2.0 |
| 7 | -116.1 | 5.7 | -6.2 | 54.1 | 60.4 | -1.6 | -2.1 |
| 8 | -115.6 | 5.7 | -6.2 | 54.0 | 60.2 | -1.6 | -2.1 |
| 9 | -115.5 | 5.7 | -6.2 | 53.7 | 60.1 | -1.6 | -2.2 |
| 10 | -115.6 | 5.6 | -6.2 | 53.5 | 59.9 | -1.6 | -2.2 |
| 11 | -115.9 | 5.5 | -6.3 | 53.2 | 59.7 | -1.6 | -2.2 |
| 12 | -116.1 | 5.5 | -6.6 | 53.0 | 59.5 | -1.5 | -2.2 |
| 13 | -116.1 | 5.8 | -6.9 | 52.8 | 59.4 | -1.5 | -2.2 |
| 14 | -115.9 | 6.1 | -7.3 | 52.7 | 59.4 | -1.5 | -2.3 |
| 15 | -115.4 | 6.5 | -7.6 | 52.6 | 59.3 | -1.5 | -2.4 |
| 16 | -115.0 | 6.7 | -7.6 | 52.5 | 59.3 | -1.6 | -2.4 |
| 17 | -114.7 | 6.9 | -7.2 | 52.4 | 59.3 | -1.6 | -2.4 |
| 18 | -114.5 | 6.9 | -6.6 | 52.3 | 59.2 | -1.7 | -2.4 |
| 19 | -114.2 | 6.9 | -5.8 | 52.2 | 59.2 | -1.7 | -2.4 |
| 20 | -113.9 | 6.8 | -5.1 | 52.0 | 59.1 | -1.6 | -2.4 |
| 21 | -113.7 | 6.6 | -4.4 | 51.9 | 59.1 | -1.5 | -2.3 |
| 22 | -113.5 | 6.5 | -3.7 | 51.9 | 59.1 | -1.5 | -2.3 |



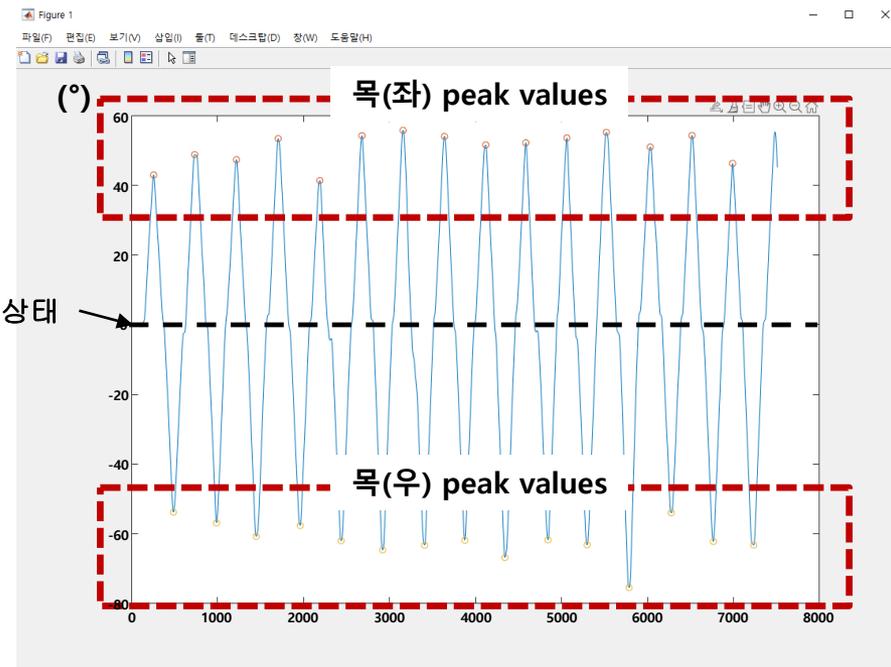
분석 Protocol - 데이터 분석용 MATLAB 코드 개발

- **Peak detection** 기법을 통한 **주기 별 목 회전 최댓값 추출**
- **주기 별 목 회전 최댓값의 평균값을 계산**하도록 코드 개발

목 상·하 각도 peak detection



목 좌·우 각도 peak detection

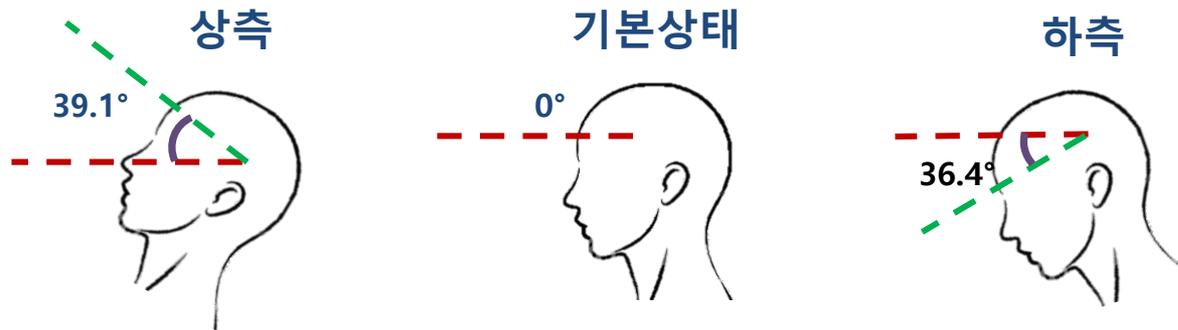


분석 결과: 상측/하측 목 회전 각도

□ **상측 동작**이 하측 동작에 비해 **7.4%(2.7°)크게 움직임**

➤ 상측: 평균($39.1^\circ \pm 13.3^\circ$), 5%ile(16.2°), 95%ile(58.4°)

➤ 하측: 평균($36.4^\circ \pm 9.7^\circ$), 5%ile(22.1°), 95%ile(52.2°)



(n = 40)

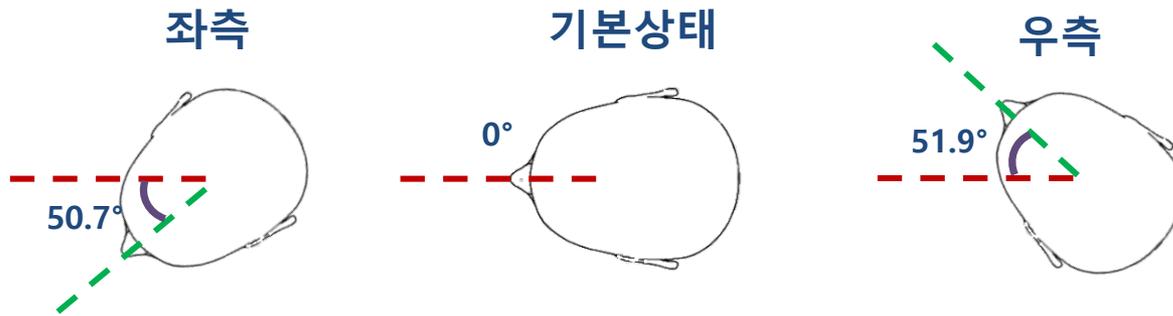
| | 평균 | 표준 편차 | 표준 오차 | 백분위수 | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 최솟값 | 1% | 5% | 10% | 25% | 50% | 75% | 90% | 95% | 99% | 최댓값 |
| 상측(°) | 39.1° | 13.3° | 2.1° | 15.8° | 16.0° | 16.2° | 21.6° | 29.5° | 39.4° | 50.9° | 54.5° | 58.4° | 63.8° | 66.6° |
| 하측(°) | 36.4° | 9.7° | 1.5° | 16.6° | 17.7° | 22.1° | 23.9° | 30.5° | 37.7° | 40.7° | 48.3° | 52.2° | 60.0° | 62.4° |

분석 결과: 좌측/우측 목 회전 각도

□ **우측 동작**이 좌측 동작에 비해 **2.4%(1.2°)크게 움직임**

➤ 상측: 평균($50.7^\circ \pm 7.3^\circ$), 5%ile(37.1°), 95%ile(62.3°)

➤ 하측: 평균($51.9^\circ \pm 8.3^\circ$), 5%ile(38.1°), 95%ile(64.5°)



(n = 40)

| | 평균 | 표준 편차 | 표준 오차 | 백분위수 | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | 최솟값 | 1% | 5% | 10% | 25% | 50% | 75% | 90% | 95% | 99% | 최댓값 |
| 좌측(°) | 50.7 | 7.3 | 1.2 | 34.5 | 34.5 | 37.1 | 42.8 | 46.2 | 50.1 | 55.8 | 60.1 | 62.3 | 64.2 | 65.2 |
| 우측(°) | 51.9 | 8.3 | 1.3 | 36.6 | 36.6 | 38.1 | 39.0 | 47.0 | 51.5 | 58.5 | 62.7 | 64.5 | 64.9 | 65.1 |

분석 결과: 턱 각도 및 이격 거리

□ 발화 동작 시 턱 각도 및 거리 확인

- 각도: 평균($16.1^\circ \pm 4.0^\circ$), 5%ile(10.6°), 95%ile(22.3°)
- 거리: 평균($9.0\text{mm} \pm 2.9\text{mm}$), 5%ile(4.5mm), 95%ile(14.2mm)

턱 각도 및 거리

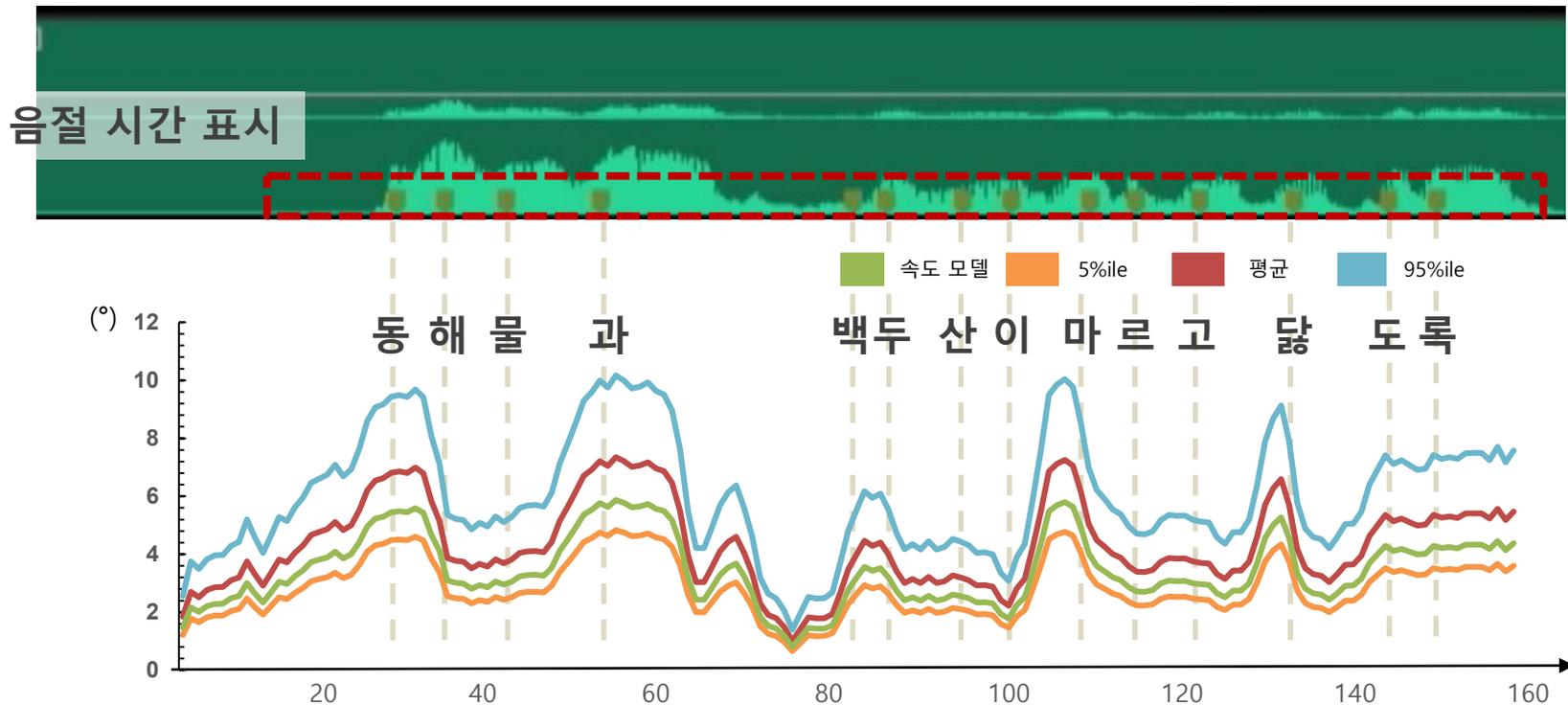


(n = 40)

| | 평균 | 표준 편차 | 표준 오차 | 백분위수 | | | | | | | | | | |
|---------|------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | 최솟값 | 1% | 5% | 10% | 25% | 50% | 75% | 90% | 95% | 99% | 최댓값 |
| 각도(°) | 16.1 | 4.0 | 0.6 | 7.1 | 8.2 | 10.6 | 11.2 | 13.1 | 16.1 | 19.2 | 20.7 | 22.3 | 24.3 | 24.5 |
| 거리 (mm) | 9.0 | 2.9 | 0.5 | 1.8 | 2.2 | 4.5 | 5.6 | 6.8 | 9.1 | 10.9 | 12.0 | 14.2 | 14.4 | 14.4 |

턱 움직임 속도 모델링

- 애국가 발화 음성 data의 각 음절 시간 추출 후 턱 각도 data와 matching
- 턱 움직임 속도 모델에 턱 각도(평균, 5%ile, 95%ile) data를 이용하여 3가지 scale의 모델 제작



Robotics 제작

- ❑ 목 움직임 각도를 적용한 robotics 제작
- ❑ 턱 각도와 턱 움직임 속도 모델을 적용한 robotics 제작
- ❑ 마스크 누설률 평가에 활용 예정

목 좌·우 움직임



목 상·하 움직임



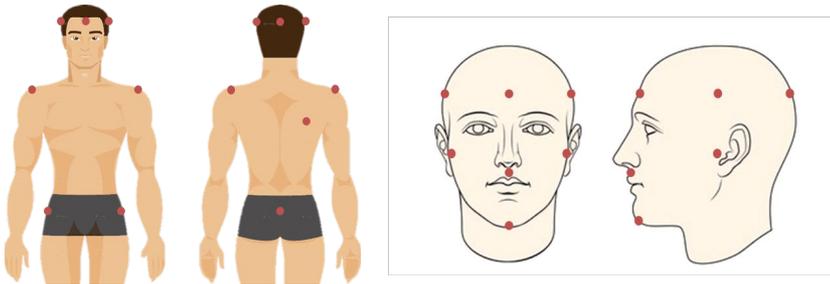
턱 동작 움직임



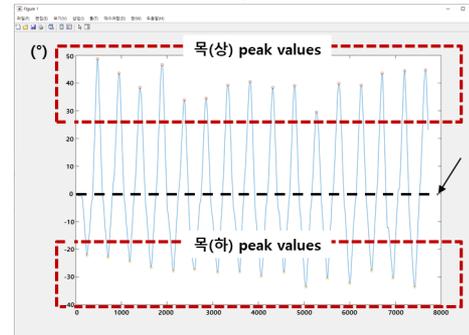
Discussion

□ 요약

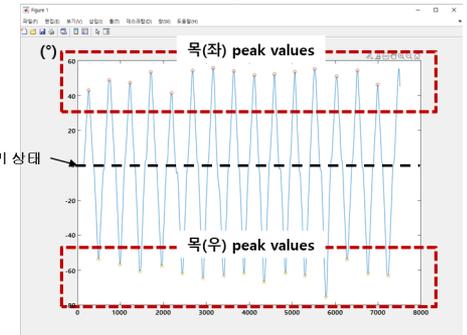
- 목 및 턱 움직임 동작 측정 방법 제시
- 목 및 턱 움직임 동작 분석 방법 제시



목 상·하 각도 peak detection



목 좌·우 각도 peak detection



□ Contribution

- 누설률 평가를 robotics로 대체함으로써 **피험자 안면부 형상에 관계 없이 동일한 평가** 결과를 얻을 수 있음으로 **결과의 신뢰성을 확보** 할 수 있음
- Robotics 평가를 통해 **피험자 모집 및 실험 참여비 지급 등의 불필요**로 인해 **시간과 비용 절감**에 효과적

경청해 주셔서 감사합니다.

