

# Development of a Design Method for an Aircrew Oxygen Mask based on 3D Face Scanning

이원섭<sup>1</sup>, 정정림<sup>1</sup>, 전은진<sup>1</sup>, 손동훈<sup>2</sup>,  
박세권<sup>2</sup>, 정대한<sup>2</sup>, 김희은<sup>3</sup>, 유희천<sup>1</sup>

<sup>1</sup>포항공과대학교 산업경영공학과

<sup>2</sup>공군사관학교 산업공학과

<sup>3</sup>경북대학교 의류학과

# 목 차

- 연구 배경 및 목적
- 3D 안면부 Scan 기반의 마스크 설계 방법
- 적용: 한국인 조종사 마스크 설계
- 토의

# 고성능 조종사 산소 마스크

## MBU-20/P 고성능 조종사 산소 마스크



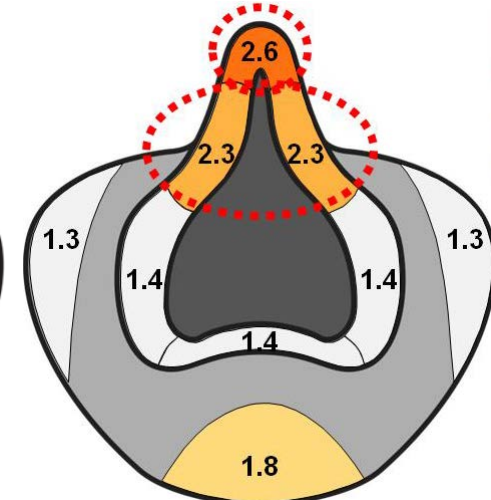
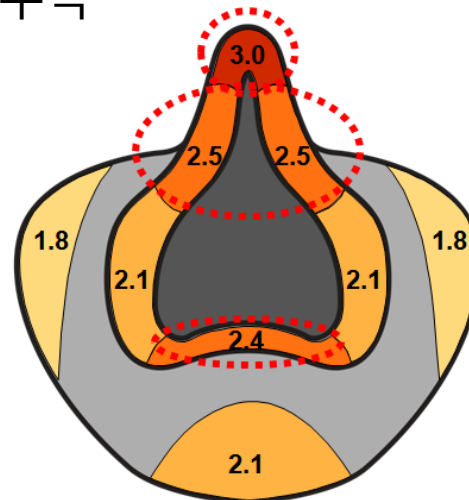
# 산소 마스크 설계 개선 연구 필요성

## □ 한국인 조종사들의 불편 호소

- ✓ 현행 산소 마스크는 **미국인 안면부 측정 자료** 기반으로 설계됨
- ✓ 콧등, 코 옆 부위 등에서 **착용 불편감** 및 **산소 누설** 호소
- ✓ 임무 수행 중 마스크 **미끄러짐** 호소
- ✓ Valsalva(호흡법)를 위해 코를 잡는 동작 불편

## □ 한국인 조종사에 적합한 마스크 설계를 위한 **안면부 측정 자료 부재**

- ✓ Size Korea의 안면부 측정 변수 부족
- ✓ 3D 안면부 data 부재



# 산소 마스크 설계 개념

- 인체 착용 제품: 사용자의 인체 특성에 적합한 설계 필요
- 인체 크기와 형상에 적합한 제품(예: 의복)은 착용 편의성(맞음새, 여유성, 동작 용이성) 및 착용 만족도 측면에서 선호(조자영 외, 2007; 2008)
  - ✓ 한국인 조종사 인체 특성에 적합한 비행복 개발 (전은진 외, 2009; 2010)
  - ✓ 한국인 얼굴 특성 적합한 반면형 마스크 개발 (한돈희 외, 2003; 2004)



한국 조종사를 위한 비행복



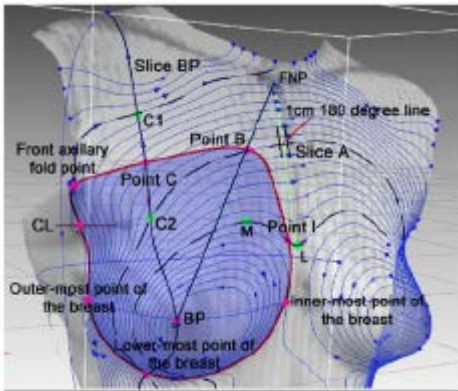
한국인을 위한 마스크



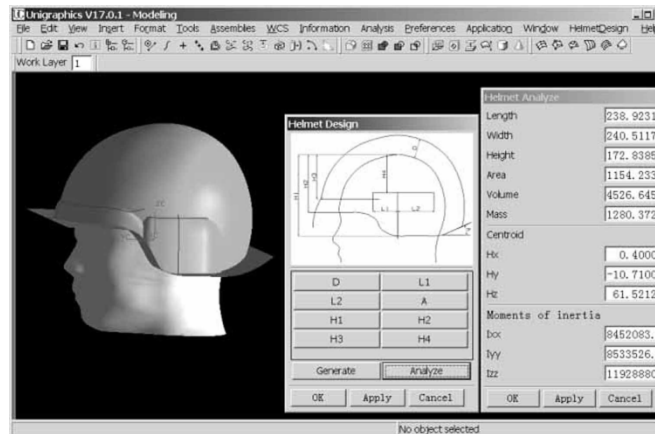
맞춤형 신발

# 3D Scanning 기반 제품 설계 설계

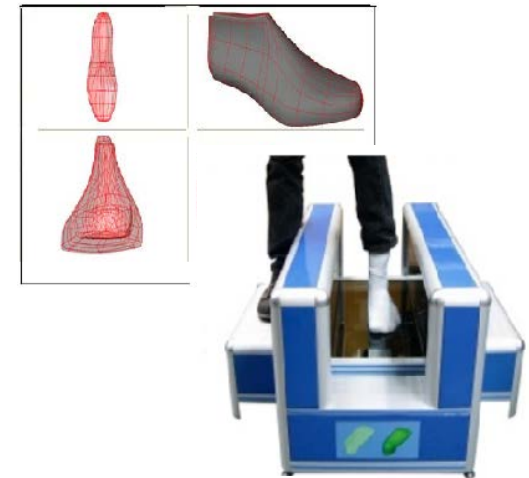
- 인체 특성을 설계 반영하기 위한 3D scanning 기반의 제품 설계 연구
  - ✓ 여성 내의 설계 방법 개발(Lee and Hong, 2007; Zheng et al., 2007)
  - ✓ 안전모 설계 방법 및 시스템 개발(Liu et al., 2008)
  - ✓ 신발 설계 방법 및 시스템 개발(Lochner, 2009; Rout, 2010)



여성 내의 설계



안전모 설계



신발 설계



# 3D Scanning 기반 산소 마스크 설계 연구 필요성

- 사용 집단(예: 한국인 조종사)의 인체 특성에 적합한 마스크 설계
  - ⇒ 착용 편의성, 착용 만족도 향상
  - ⇒ 효율적 임무 수행도, 안전한 비행
- 3D scanning 기반의 체계적인 산소 마스크 설계 연구 부재
- 안면부 치수 및 형상 정보를 산소 마스크 설계에 체계적으로 반영하기 위한 설계 방법 미흡

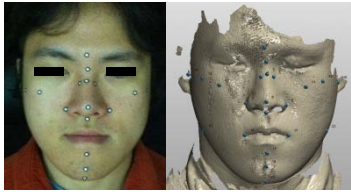
## 3D scanning 기반의 인간공학적 산소 마스크 설계 방법 개발

- ❑ 설계 문제 및 설계 개선효과의 정량적 분석을 위한  
마스크 가상 착의(virtual fit) 평가 방법
- ❑ 가상 착의 평가를 위한 마스크 착용 특성 분석 방법
- ❑ 가상 착의 평가 기반의 마스크 설계 방향 선정 방법
- ❑ MBU-20/P 산소 마스크의 설계 적용을 통한 설계 방법의 타당성 검증

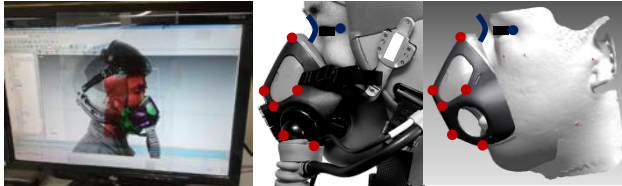


# Oxygen Mask Design Process

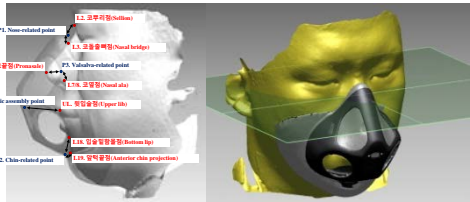
S1. 안면부 3차원 Scanning



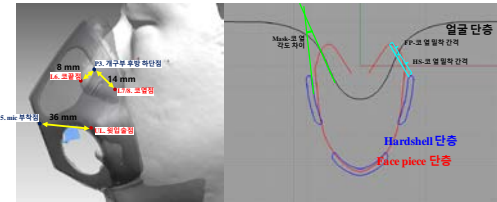
S2. 마스크 착용 특성 분석



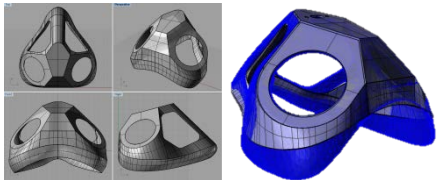
S3. 현행 마스크 설계 Virtual Fit 평가



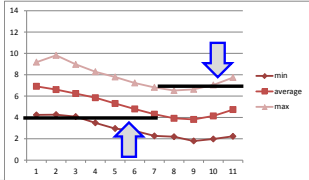
S4. 현행 마스크 설계 개선 항목 및 개선 방향 파악



S5. 마스크 형상 설계 개선

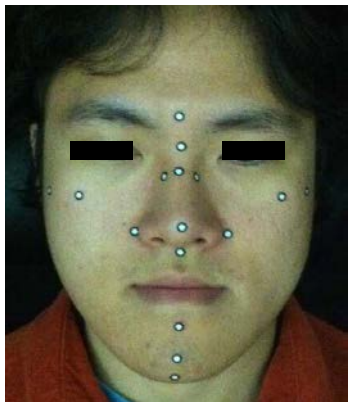


S6. 개선 마스크 설계 Virtual Fit 평가

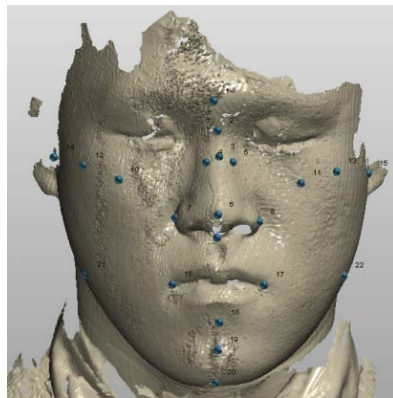


# S1. 안면부 3차원 Scanning

- 기존 문헌을 통해 선정된 **face landmark(22개)** 표기 후 scanning
- 3D scanning을 통해 표기된 **landmark** 및 **관련 치수들이 자동으로** 파악되도록 system화 (Matlab 2008a)
- Landmark는 마스크 착용 특성 분석 및 설계안 개발 시 **참조점**으로 활용



Face landmark (예)



3D scan data

10

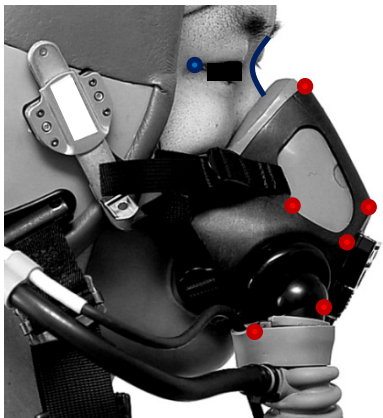


3D scan 환경

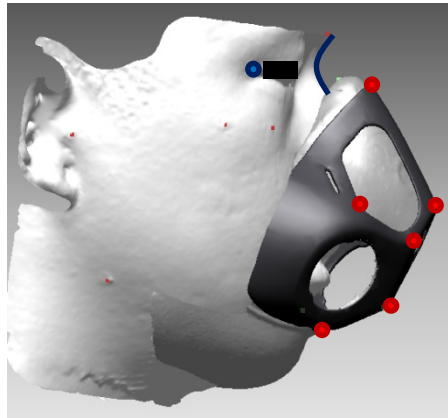


## S2. 마스크 착용 특성 분석

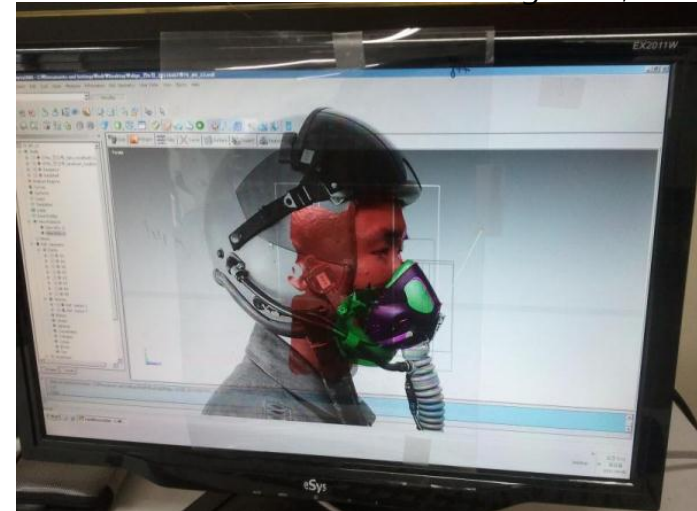
- 3차원 가상 착의(virtual alignment)를 위한 마스크 착용 특성 분석
- 분석 항목: 착용 각도, 착용 위치 (코, 턱)
- 분석 방법
  - ✓ 사진-3D 형상 alignment: 실제 마스크 착용 모습(착용 사진)과 일치하도록 3차원 상에서 3D scan 형상을 alignment
  - ✓ 착용 기준: 코 부위 및 mask 상의 특징점 일치
  - ✓ 사진-3D 형상 alignment 방법의 신뢰성: 3명 반복 수행 (측정치 변동 < 2 mm)  
Weinberg et al., 2005



마스크 착용 사진



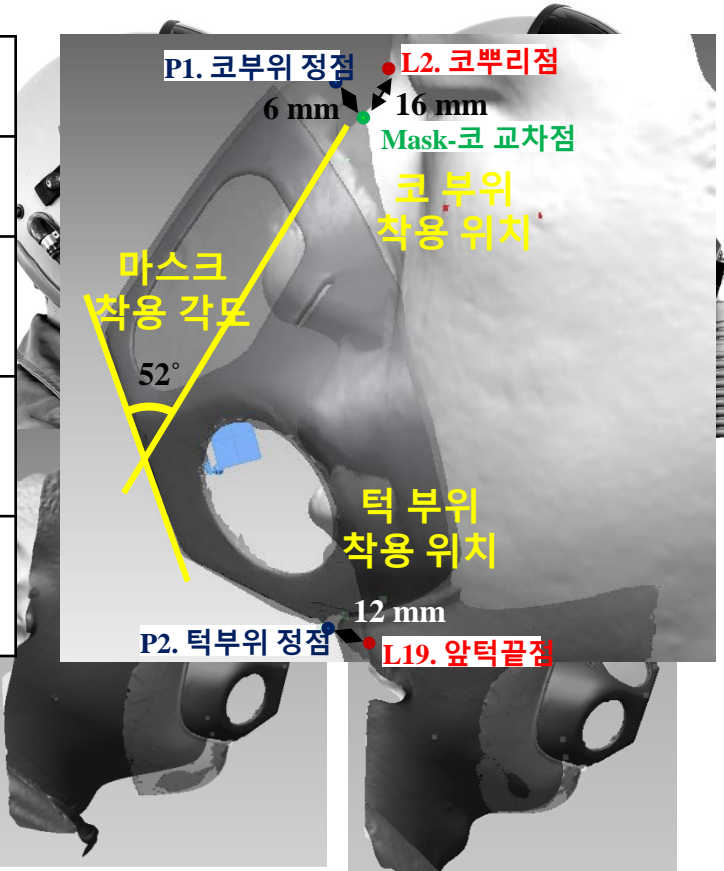
3차원상에서의  
마스크 착용 결과



# S2. 마스크 착용 특성 분석 결과

□ 마스크 착용 특성 분석 항목별 착용 범위 파악 ( $n = 5$ )

분석 항목		평균	범위
착용 각도		52°	47 ~ 57°
코 부위 착용 위치	코뿌리점(L2)-교차점 간격	16 mm	11 ~ 19 mm
	교차점-코부위 정점(P1) 간격	6 mm	5 ~ 8 mm
턱 부위 착용 위치	앞턱끝점(L19)-턱부위 정점(P2) 간격	12 mm	9 ~ 14 mm



# S3. 현행 마스크 설계 Virtual Fit 평가

- 현행 마스크 설계 문제 부위 파악을 위한 가상 착의(virtual fit) 평가 수행
- Virtual fit 평가를 위한 가상 마스크 착용(virtual mask alignment)
  - ✓ 파악된 마스크 착용 특성을 동일 마스크 size의 3D scan data들에 적용
  - ✓ Virtual alignment의 신뢰성: 3명 반복 수행 (측정치 변동 < 2 mm)

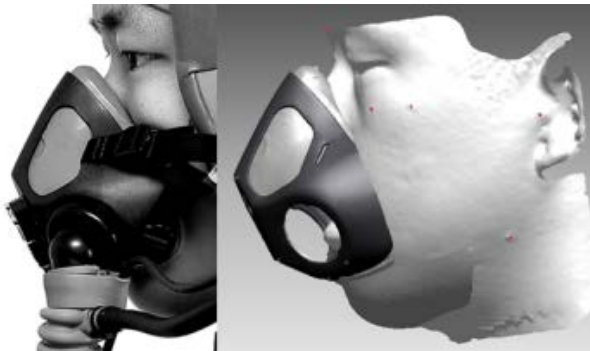
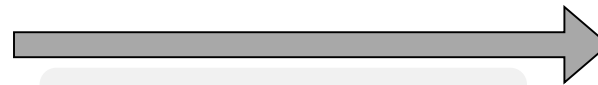
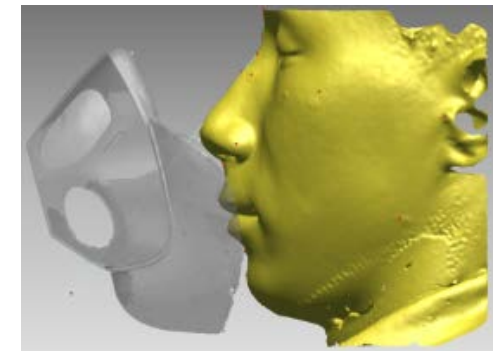


사진-3D alignment (5명)



## 마스크 착용 특성

- 착용 각도
- 착용 위치(orientation)



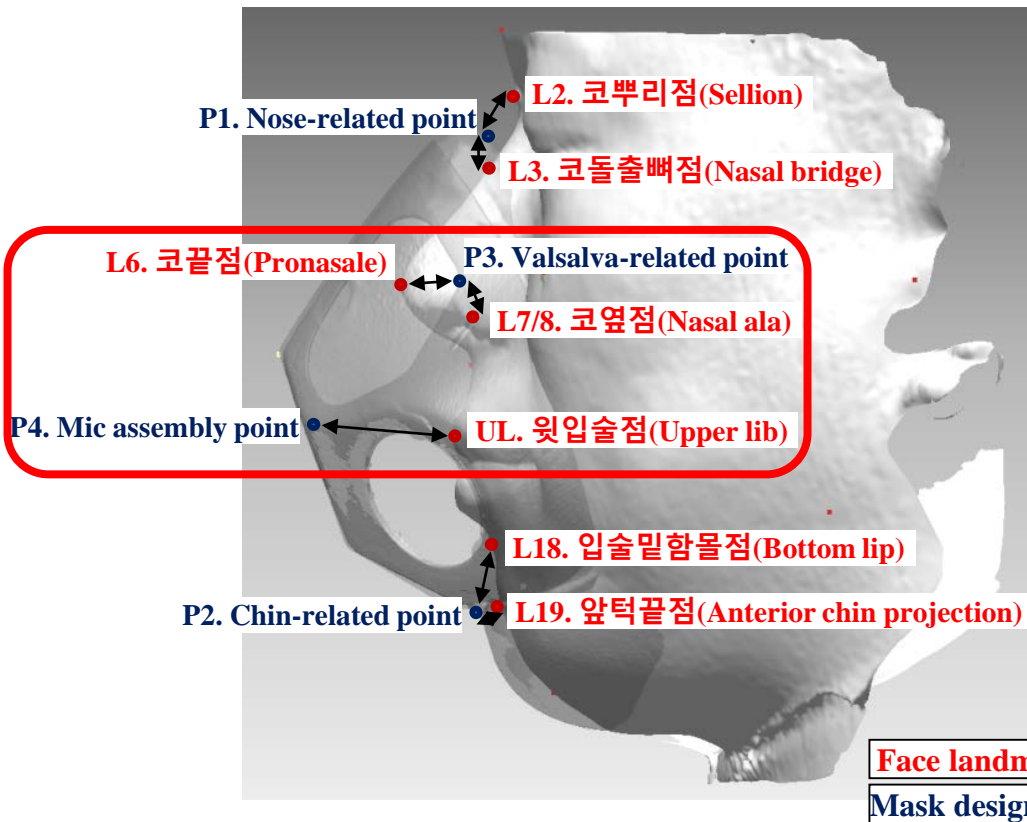
Virtual alignment 수행  
(예: 30명)

(Medium narrow size 예시)



# S3. 현행 마스크 설계 Virtual Fit 평가: 여유공간 분석

□ Face landmark와 마스크 설계 참조점 간의 여유공간 7개 항목



## ■ Valsalva를 위한 여유공간

- Valsalva점-코끝 간격: 8 mm (4 ~ 14 mm)
- Valsalva점-코옆 간격: 14 mm (10 ~ 18 mm)

## ■ Mic와 입술 간의 여유공간

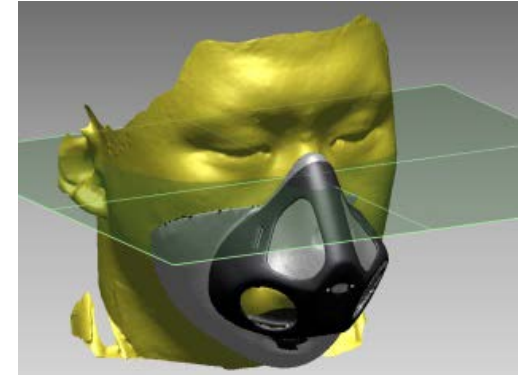
- 마스크-입술 간격: 36 mm (30 ~ 41 mm)

# S3. 현행 마스크 설계 Virtual Fit 평가: 압박/밀착 분석

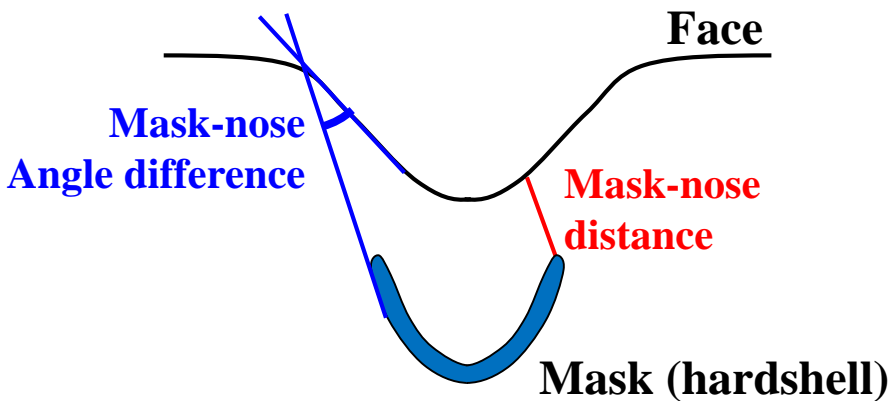
□ 단면(간격: 1 mm)을 생성하여 마스크가 얼굴에 착용된 특성 분석

□ 분석 항목

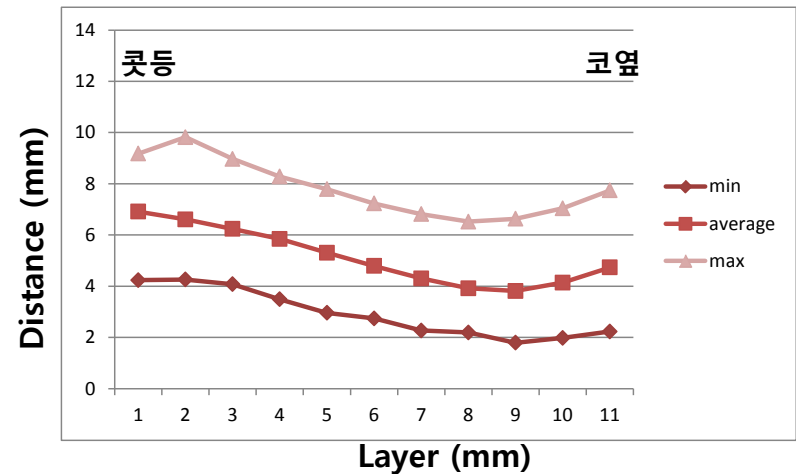
- ✓ 마스크-코 압박/밀착 각도
- ✓ 마스크-코 압박/밀착 간격



단면 생성 (예)



압박 및 밀착 분석 (예)



밀착 간격 분석 결과 (예)



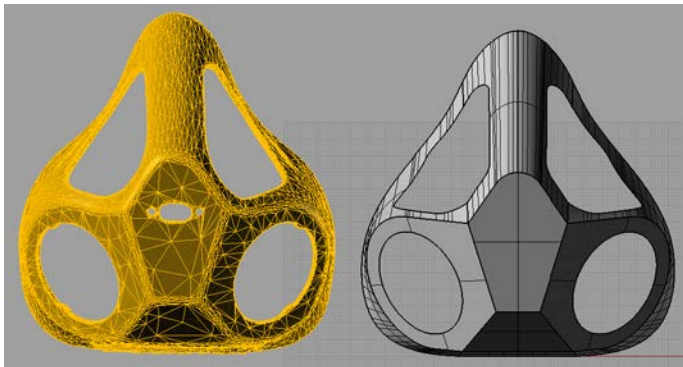
# S4. 현행 마스크 설계 개선 항목 및 개선 방향 파악

- Virtual fit 평가 결과를 토대로 설계 개선 방향 파악
- 설계 대상 인체 크기(예: 최소, 평균, 최대) 및 설계 기준치 정량적 파악
- (예) 마스크-입술 여유공간은 입술 최대 돌출 사람도 여유공간이  
 평균(36 mm) 이상 확보되도록 설계 (마이크 입술 접촉 호소: 53%)
- 정량적 분석 자료를 기반으로 설계 기준치 보정

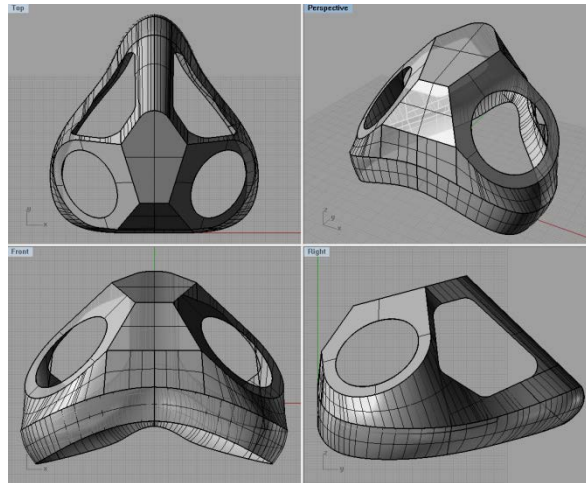
No.	설계 개선 항목		Virtual fit 평가 결과			설계 개선 방향	
			최소값	평균	최대값	설계 대상 인체 크기	설계 기준치
1	얼굴 밀착면 형상		-			대표 인체모델에 적합하게 설계	
2	여유공간	마스크-입술 여유공간 (mm)	30	36	41	입술 돌출 최대	≥ 36
∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴
3	압박도	마스크-코트등 각도 차이 (°)	16	23	37	평균	≤ 25
4		Hardshell-코트등 간격 (mm)	2	5	8	평균	5 ~ 8
∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴
5	밀착도	마스크-코 옆 각도 차이 (°)	2	17	30	평균	≤ 20
6		Hardshell-코 옆 간격 (mm)	1	5	8	평균	3 ~ 5
∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴

# S5. 마스크 형상 설계 개선

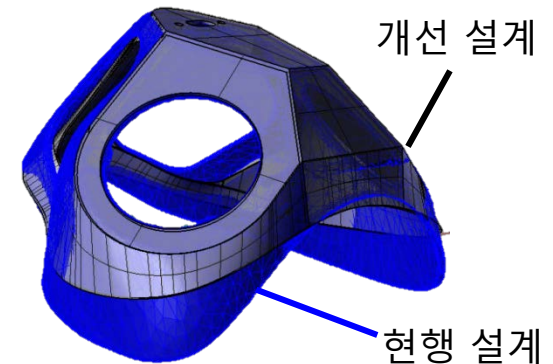
- 현행 마스크 3D scan data의 역설계를 통한 CAD화
- 파악된 마스크 설계 개선 방향에 따라 현행 마스크 CAD 수정



현행 마스크의 역설계



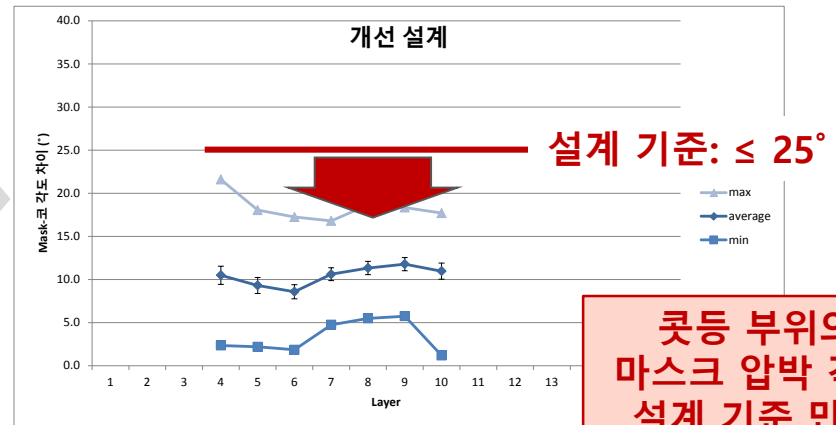
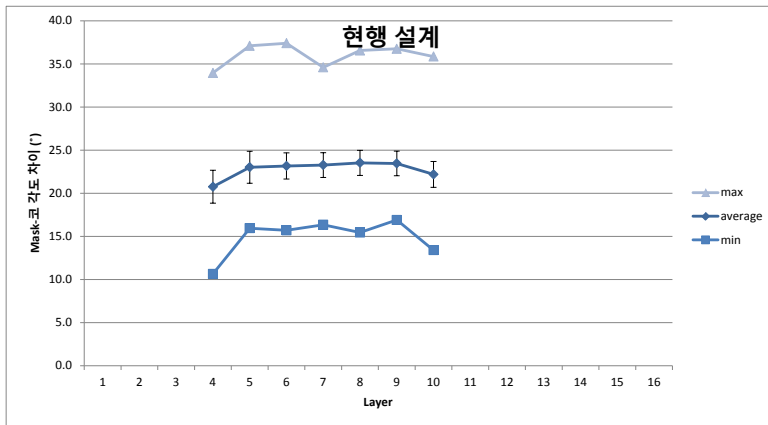
개선 마스크 CAD



마스크 형상 비교

# S6. 개선 마스크 설계 Virtual Fit 평가

- 동일 virtual fit 평가 방법을 통해 설계 개선 효과 분석
- 분석 항목: 여유공간, 압박/밀착 각도, 압박/밀착 간격

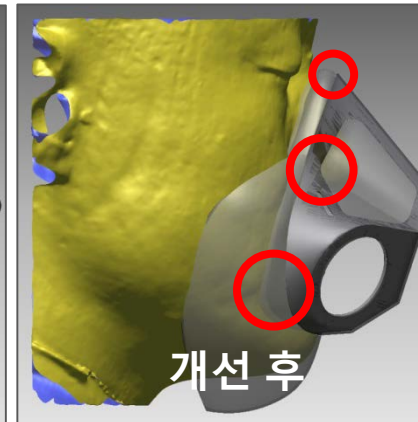
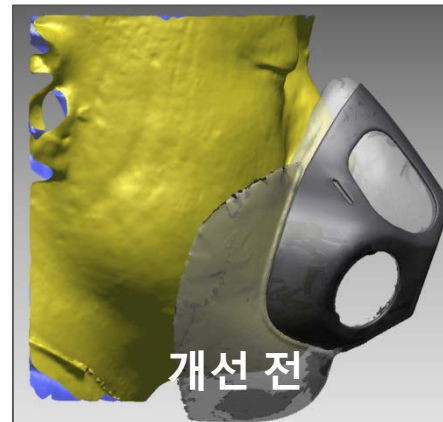


코트 등 부위의 마스크 압박 각도 설계 기준 만족

마스크 압박 각도 개선 예

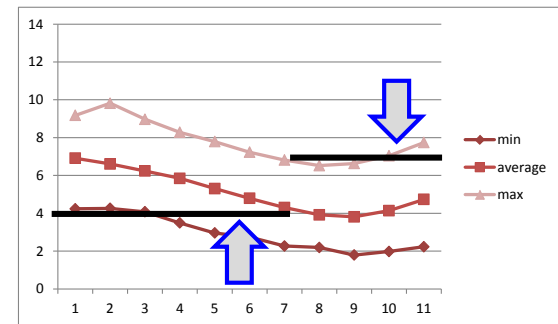
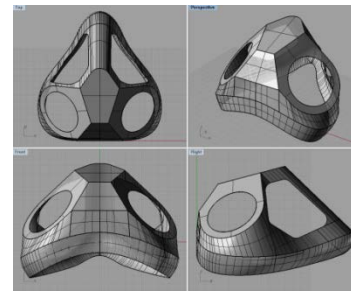
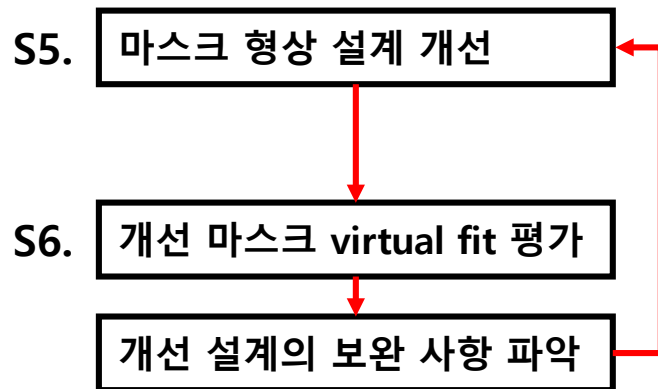
No.	평가 항목	Code		개선 전	개선 후	개선 효과
1	Valsalva-코끝 여유공간	P3-L6	평균	8	13	<ul style="list-style-type: none"> <li>5 mm 여유공간 확보</li> <li>설계 기준 <math>\geq 8</math> mm 만족</li> </ul>
			범위	4 ~ 14	8 ~ 17	
2	Valsalva-코옆 여유공간	P3-L7/8	평균	14	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>8 mm 여유공간 확보</li> <li>설계 기준 <math>\leq 13</math> mm 만족</li> </ul>
			범위	10 ~ 18	3 ~ 11	
3	Mask-입술 여유공간	P3-UL	평균	36	37	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 mm 여유공간 확보</li> <li>설계 기준 <math>\geq 36</math> mm 만족</li> </ul>
			범위	30 ~ 41	32 ~ 41	

여유공간 개선 (예)



# S6. 현행 마스크 설계 Virtual Fit 평가 (cont'd)

- Virtual fit 평가를 통한 개선 설계의 보완 사항 파악
- 설계 기준에 적합하도록 설계 수정 과정 반복

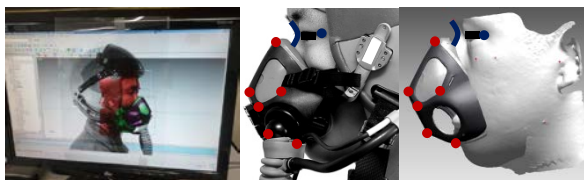


밀착 간격 분석 예

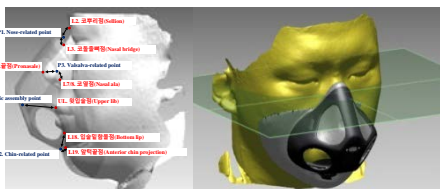
# 토 의

## □ 3D 안면부 scan 기반의 인간공학적 산소 마스크 설계 방법 개발

- ✓ 설계 문제 정량적 분석을 위한 **마스크 가상 착의(virtual fit) 평가** 방법 개발
- ✓ 가상 착의 평가를 위해 **마스크 착용 특성 분석**

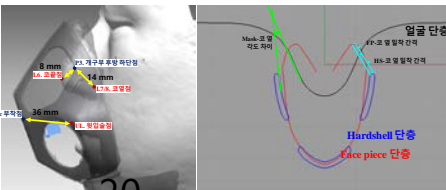


- ✓ 가상 착의 평가를 통해 **여유공간, 압박/밀착 각도, 압박/밀착 간격** 측면에서 마스크 개선 전후의 설계 특성 및 **설계 개선 효과 비교**. Iterative 설계 보완



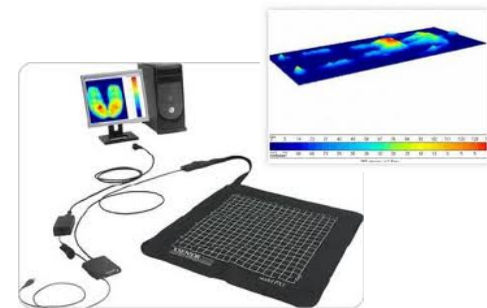
- ✓ 가상 착의 평가, 인체 크기 분석, 조종사 설문 결과를 종합적으로 분석하여 **마스크 설계 방향 정량적 파악**

No.	설계 개선 항목	Virtual fit 평가 결과			설계 개선 방향		
		최소값	평균	최대값	설계 대상 인체 크기	설계 기준치	
1	얼굴 밀착면 형상	-	-	-	대표 인체모델에 적합하게 설계	-	
2	여유공간	Mask-입술 (mm)	30	36	41	입술 돌출 최대	≥ 36
3	압박도	Mask-콧등 각도 차이 (°)	16	23	37	평균	≤ 25
4	밀착도	Hardshell-콧등 간격 (mm)	2	5	8	평균	5 ~ 8
5	압박도	Mask-코 윗 각도 차이 (°)	2	17	30	평균	≤ 20
6	밀착도	Hardshell-코 윗 간격 (mm)	1	5	8	평균	3 ~ 5
...	...	...	...	...	...	...	...



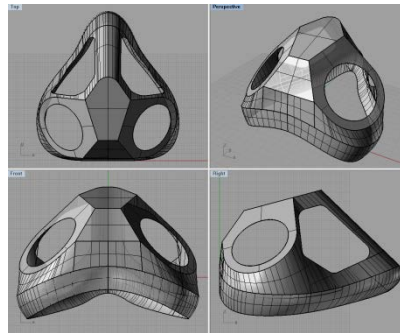
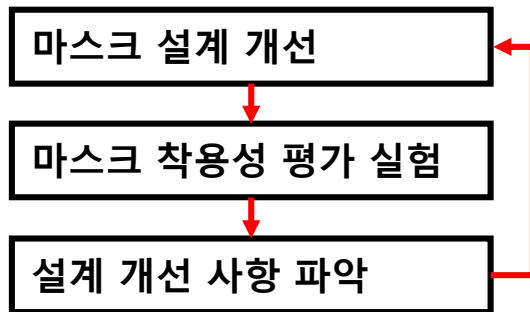
# 추후 연구

## 실 사용자 대상 인간공학적 마스크 착용성 평가 실험

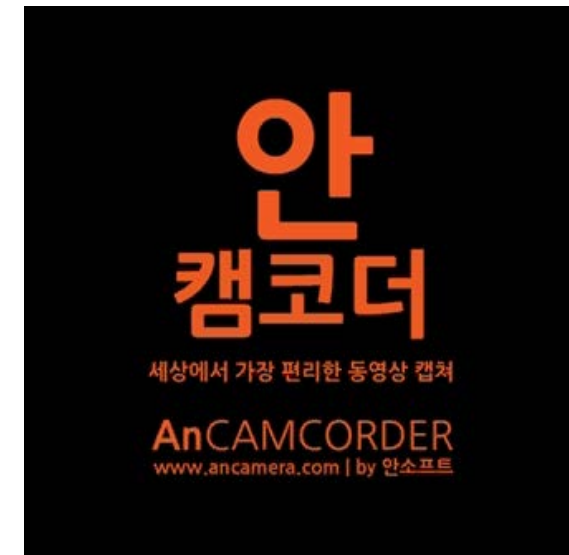


평가 장비 (예)

## Iterative design improvement



## 설계 과정의 system화



Thank you for attention.