

# Facial Anthropometric Surveys and Respiratory Design: A Literature Review and Research Challenges



이원섭<sup>1</sup>, 정대한<sup>2</sup>, 박세권<sup>3</sup>, 김희은<sup>4</sup>, 유희천<sup>1</sup>

- 1 포항공과대학교 산업경영공학과
- 2 공군사관학교 기계공학과
- 3 공군사관학교 시스템공학과
- 4 경북대학교 의류학과

# Contents

- **Introduction**
  - **Background**
  - **Objectives of the Study**
- **Facial Anthropometry and Applications**
- **Respirator Design Methods**
- **Respirator Fit Test**
- **Discussion**

# Facial Anthropometric Surveys

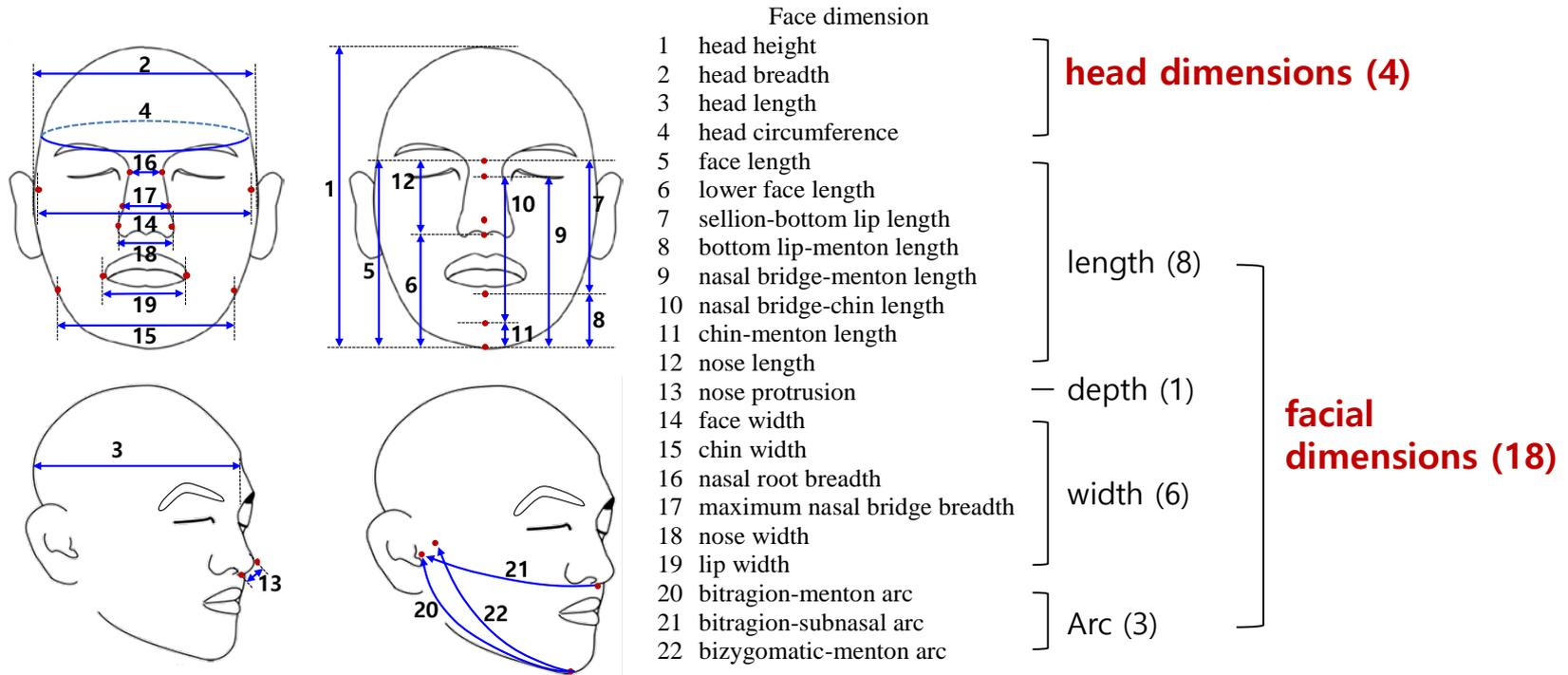
- 군 장비 및 보호구 개발을 위해 대규모 인체 치수 조사가 시작됨 (안면 치수 포함)
- **1967년 조사된 미공군 안면 측정 data**는 MBU-12/P와 MBU-20/P 산소마스크 설계에 적용되었으며, 2000년대 초반까지 산업용 호흡구 개발에도 활용되었음
- 2000년대 이후 각국의 일반인 대상 인체 또는 안면 치수 조사 사업 활성화 및 3D scan 측정법 사용

No.	Survey period	Population	Sample size	Measurement method	Number of dimensions	
					Face dimension	Body dimension
1	1950	US Air Force male	4,063	DM	40	132
2	1967 ~ 1968	US Air Force male	2,420	DM	48	182
3	1987 ~ 1988	US Army	8,997	DM	16	132
4	2000	US civilians (CAESAR)	2,380	DM & SM	9	99
5	2003	US civilians (NIOSH)	3,997	DM	19	-
6	2006	Chinese civilians	3,000	DM	19	-
7	2004 ~ 2006	Japanese civilians	6,842	DM & SM	17	217
8	2010	Korean civilians	14,016	DM	8	139
			848	SM	45	156
9	2010 ~ 2011	US Army	13,000	DM & SM	14	97

DM: direct measurement  
SM: 3D scan measurement

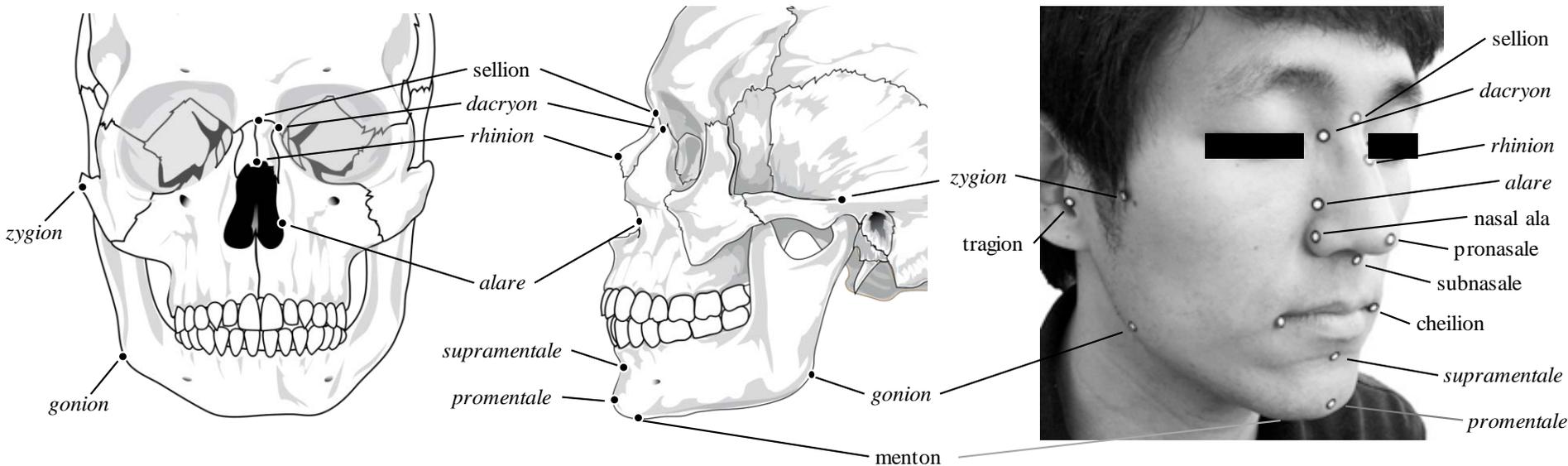
# Head & Facial Dimensions

- 안면 측정 및 마스크 설계 관련 기존 연구 15편에서 **107개 안면 측정 항목** 파악
- 활용 예) 반면형 마스크 설계 관련 **22개 측정 항목** 파악  
(length: 9, depth: 2, width: 7, circumference and arc: 4)



# Facial Landmarks Used for 3D Measurement

- 기존 안면 측정 연구에서 사용한 관련 측정 참조점(landmark) 파악
- 활용 예) 18개 face dimension의 3D 측정을 위해 21개 측정 참조점 선정



non-italic: surface landmarks  
*italic: cranial landmarks*

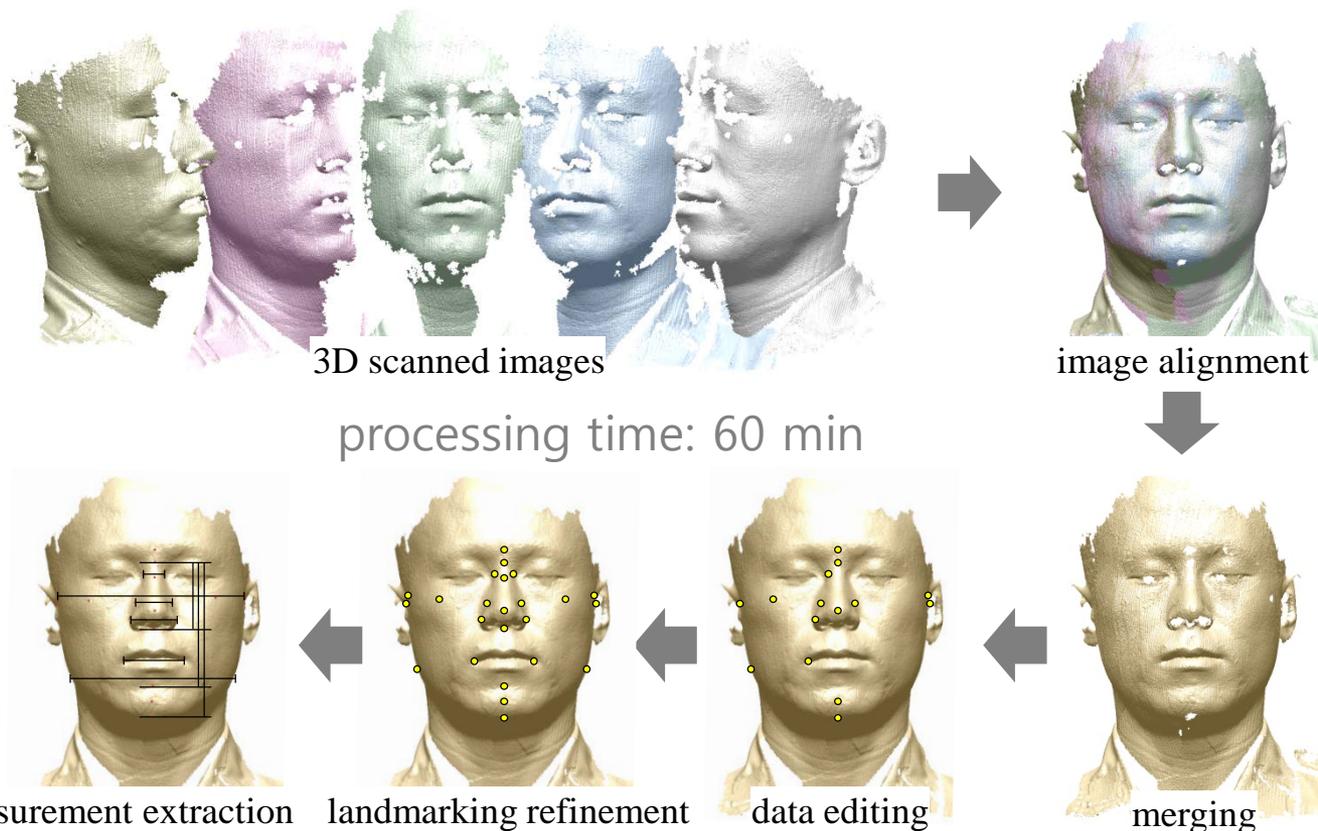
# 3D Face Scanning

- 3D scanning 예
  - ✓ Rexcan 560 (Solutionix, South Korea)을 이용한 안면 측정
  - ✓ 안면 landmark에 sticker를 부착 후 3D scan  $\Rightarrow$  Landmark의 3차원 좌표가 자동으로 추출됨
  - ✓ 5개 각도에서 촬영 ( $60^\circ$  left,  $30^\circ$  left,  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  right,  $60^\circ$  right)



# Post Processing & Automatic Facial Measurement

- Post processing: ezScan (Solutionix Inc., South Korea) 및 RapidForm 2006 (Inus Technology, South Korea) 이용
- MATLAB으로 개발된 system을 이용하여 안면 치수 자동 측정



# Another Scanning Techniques



Head 전용 3D scanner  
(Size China에서 활용, 2011)

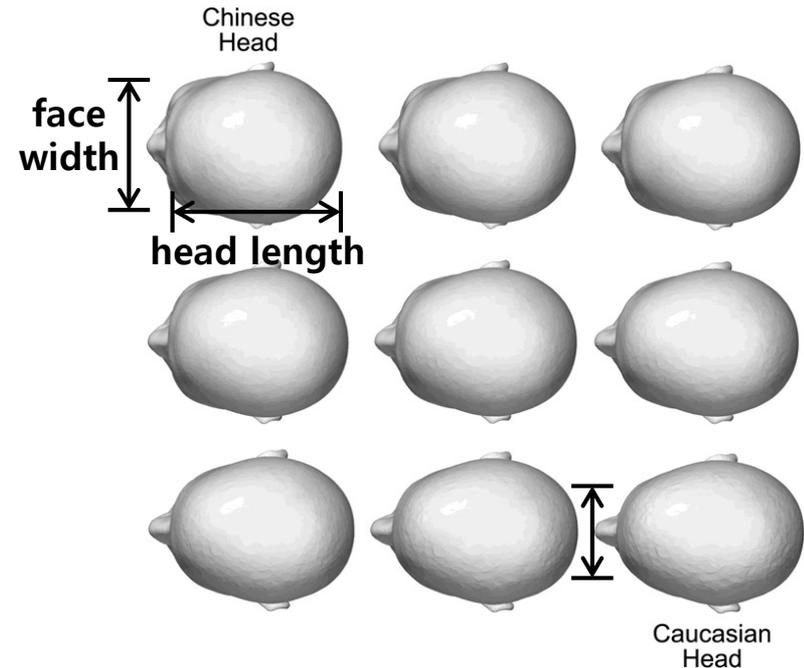


Artec hand-held scanner

# Comparison of Facial Dimensions

- 일반적으로 동양인(예: 한국인, 중국인)의 얼굴이 서양인(예: 미국인, 호주인)보다 평균적으로 **짧고 넓은**
- 설계 대상 인구(target population)에 따라 얼굴 형상 및 크기 특성이 상이하므로 **마스크 사용 인구의 안면 특성에 기반한 마스크 설계 필요**

Race	Mongoloid (Korean and Chinese)		Caucasian (American and Australian)
References	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De at al. (2008)</li> <li>• Han et al. (1997)</li> <li>• Kim et al. (2003)</li> <li>• Size China (2010)</li> <li>• Size Korea (2004)</li> <li>• Yang et al. (2007)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brazile et al. (1998)</li> <li>• Churchill et al. (1977)</li> <li>• CAESAR (2000)</li> <li>• Gross &amp; Horstman (1997)</li> <li>• Hughes &amp; Lomaev (1972)</li> <li>• Oestenstad &amp; Perkins (1992)</li> <li>• Zhuang &amp; Bradtmiller (1995)</li> </ul>
head length	177.0 ~ 188.0	<	<b>197.3 ~ 200.1</b>
head breadth	<b>154.0 ~ 158.0</b>	>	153.0 ~ 154.5
face width	<b>134.1 ~ 147.5</b>	>	142.7 ~ 143.5
face length	109.5 ~ 117.8	<	<b>121.3 ~ 126.0</b>
nose width	<b>33.2 ~ 39.6</b>	>	27.0 ~ 37.5

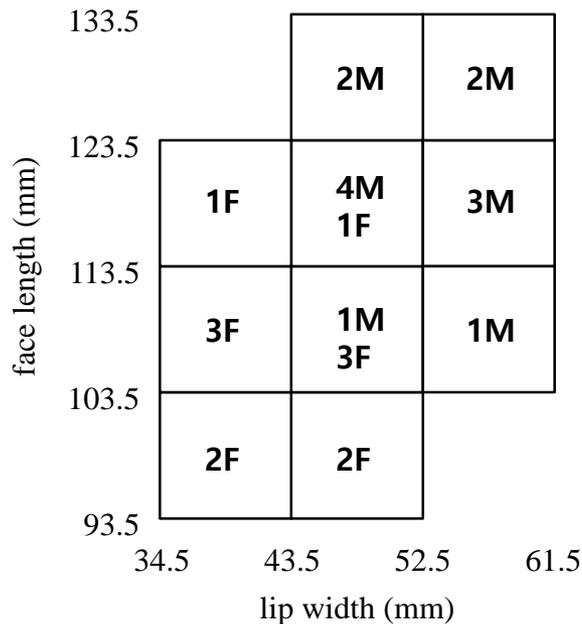


Difference of facial shape between Chinese and Caucasian head (Ball et al., 2010)

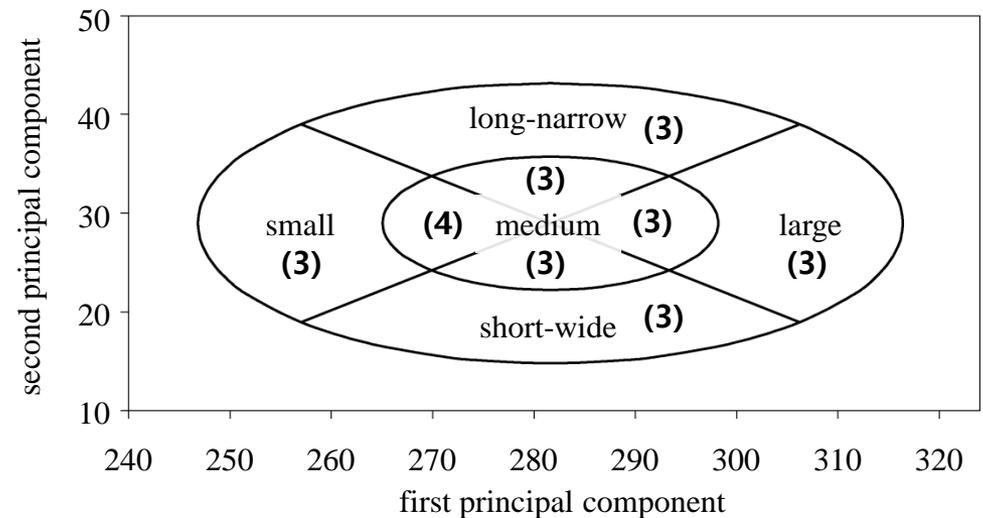
기존 안면 측정 및 안면 비교 연구들이 제시한 측정치 평균값들의 범위

# Application of Facial Anthropometry: Respirator Fit Testing Panel

- 미국 산업안전보건연구원(NIOSH, 1973, 2007)에서 **산업용 호흡구 평가를 위한 얼굴 크기별 평가 참여자 수(25명)**를 제시
- 한계: **구체적인 호흡구 설계 guideline** (예: 크기, 형상, 치수체계)은 제시하지 않음



Early NIOSH fit testing panels  
(Hack et al., 1973)

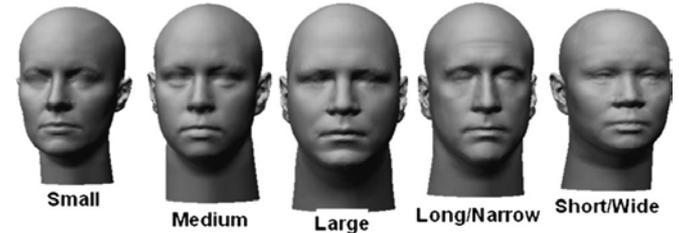
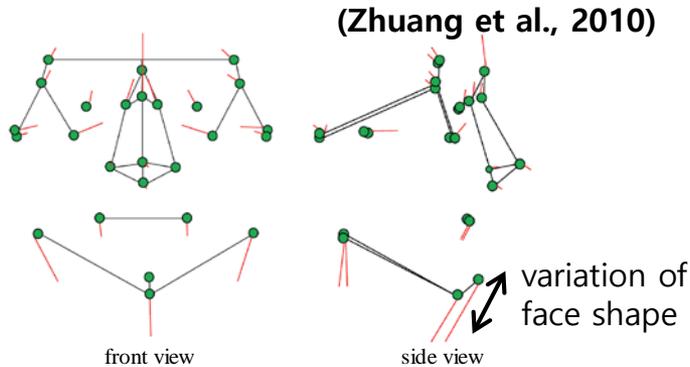


New NIOSH fit testing panels based on PCA  
(Zhuang et al., 2007)

# Application of Facial Anthropometry: Representative Face Models

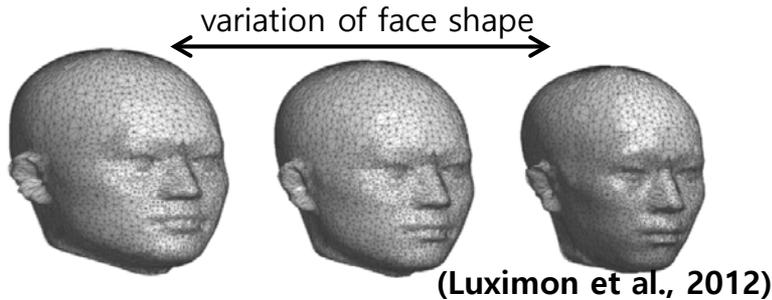
- 3D 안면 scan data의 principal component analysis를 통해 설계 대상 인구의 대표 안면 크기 및 형상(representative face model, RFM) 생성
- RFMs을 기반으로 호흡구를 설계한 연구는 미비하며 구체적인 설계 방법이 제시되지 못하였음

Landmark의  
3차원 위치 기반의  
대표 형상 파악



미국 일반인의 안면 크기 및 형상을 대표하는  
NIOSH의 RFMs (Zhuang et al., 2010)

3D point data를  
이용한 대표 형상  
파악 연구 예



PCA 기반 대표 형상 분석 연구  
(첫 번째 principal component 예)



파악된 대표 형상을 이용한 headform 제작 예  
(Size China, 2008)

# Respirator Design Approach Based on Facial Dimensions

- 초기 연구들은 **안면 측정 항목 기반 호흡구 형상 설계**
- 호흡구 설계에 연관된 주요 안면 측정 항목들이 제시됨

No.	Previous study	Facial dimensions related respirator fit
1	Hack et al. (1973)	face length, face width, lip width
2	Liau et al. (1982)	face width, lip width
3	Gross and Horstman (1990)	face length, nose length, lip width
4	Oestenstad et al. (1990)	lower-face length, biocular breadth, nasal root breadth
5	Oestenstad and Perkins (1992)	face length, lower-face length, biocular breadth, nasal root breadth
6	Brazile et al. (1998)	nose width, nose protrusion
7	Han and Choi (2003)	face width, nose protrusion, bitragion-menton arc
8	Zhuang et al. (2005)	face length, face width, bigonial breadth, nose protrusion

## • 기존 연구 한계

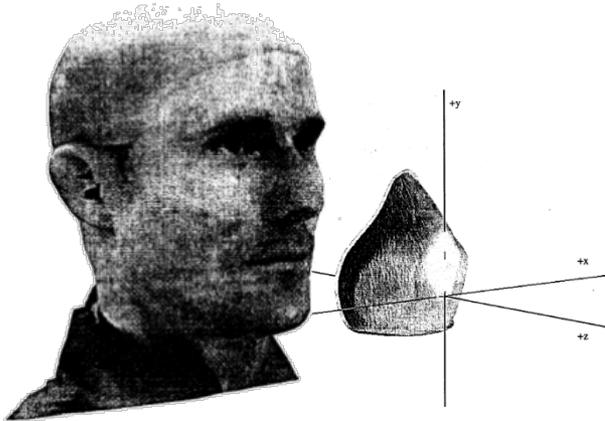
- ✓ 안면 측정 항목 기반의 호흡구 형상 설계에 관한 **체계적인 설계 방법이 제시되지 못함**
- ✓ **2차원 치수만으로 3차원 안면 형상에 적합한 호흡구 형상을 설계하기에는 한계가 있음**  
(Cobb, 1972 ; Godil, 2009; Kim et al., 2003; Lovesey, 1974; Luximon et al., 2012; Piccus et al., 1993; Seeler, 1961; Song & Yang, 2010; Yang & Shen, 2008; Yatapanage and Post, 1992 Zhuang et al., 2010a, b)

- **3D 안면 data 기반의 새로운 호흡구 설계 방법에 대한 가능성 및 사례들이 소개됨**  
(Godil, 2009; Han et al., 2004; Kim et al. 2003; Luximon et al., 2012; Song and Yang, 2010; Yang and Shen, 2008; Yatapanage and Post, 1992; Zhuang, et al., 2010a, 2010b)



# Oxygen Mask Design Based on Mask Contour Analysis

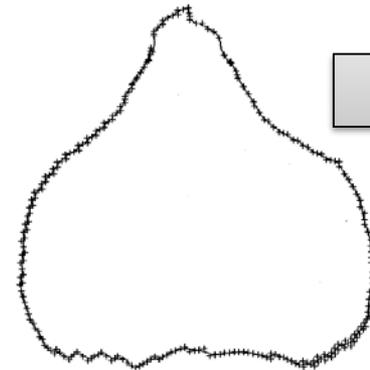
- 안면 밀착 형상 분석 기반의 마스크 형상 개선 (Gross et al., 1997)
  - ✓ 현행 MBU-20/P 산소마스크 형상 설계에 관한 연구
  - ✓ 초기 마스크 형상을 3D 안면에 가상 착의 후 마스크의 밀착 형상 분석
  - ✓ 안면 밀착 형상과 주관적 착용감(예: 산소누설, 미끄러짐)을 기반으로 마스크 형상 개선
- 기존 연구 한계
  - ✓ 안면 밀착 형상과 주관적 착용감의 마스크 형상 설계 적용 방법 언급 부재
  - ✓ 무작위 선별된 미공군 60명(남 30명, 여 30명) 안면 특성을 활용하여 4가지 치수 설계 ⇒ 전체 산소마스크 사용 집단에 대한 고려가 미흡
  - ✓ 다양한 크기와 형상의 사용자 대상 개선 마스크에 대한 평가 검증 부재



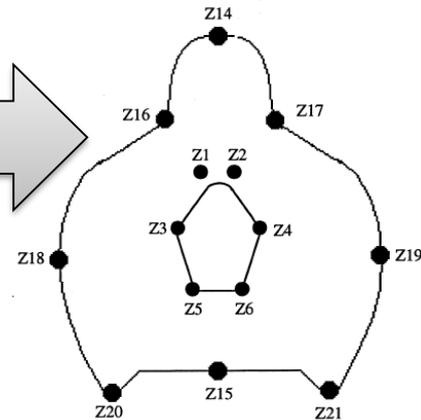
안면 및 초기 마스크의  
3D scan 예



마스크 가상 착의



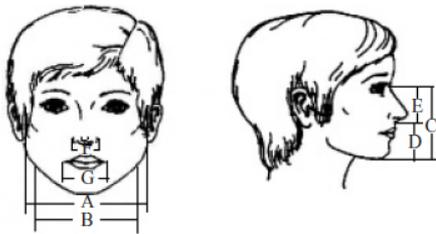
3차원 안면 밀착  
형상(contour) 분석



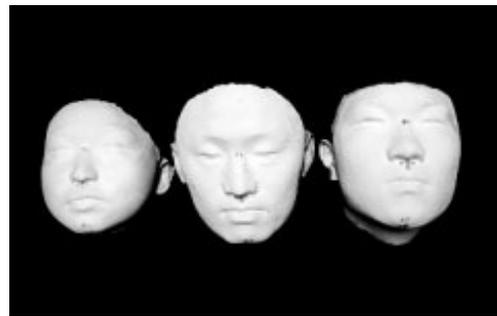
개선 마스크 설계를  
위한 설계 landmark

# Respirator Design Based on Representative Models

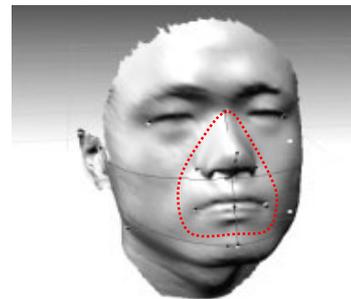
- 대표안면모델 기반의 산업용 호흡구 형상 설계 (Han et al., 2004)
  - ✓ 50명(남 25명, 여 25명)의 안면 측정 항목 기반 3개 치수 group 선정(대, 중, 소)
  - ✓ 치수별 평균 안면에 근접한 얼굴을 clay 제작한 후, 측정 항목 평균이 되도록 clay 수정
  - ✓ Clay model을 3D scan 후, 3D 형상 profile 기반 호흡구 형상 설계
- 기존 연구 한계
  - ✓ 50명 data 기반으로 생성된 대표모델이 전체 호흡구 사용 집단을 대표하는지 고려 미흡
  - ✓ 안면 특성과 호흡구 설계 특성을 고려한 세부적인 형상 설계 방법이 제시되지 못함
  - ✓ 호흡구 사용 집단 내 안면 형상이 다양한 사용자 대상 착용성 평가 검증 부재



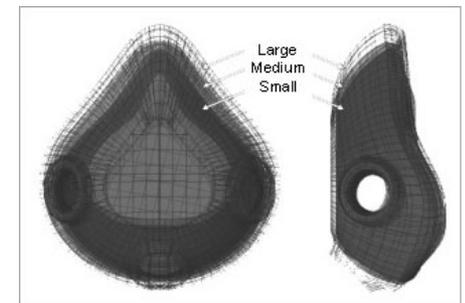
안면 측정 항목 예  
(10개 항목)



Clay로 제작된 대표안면모델

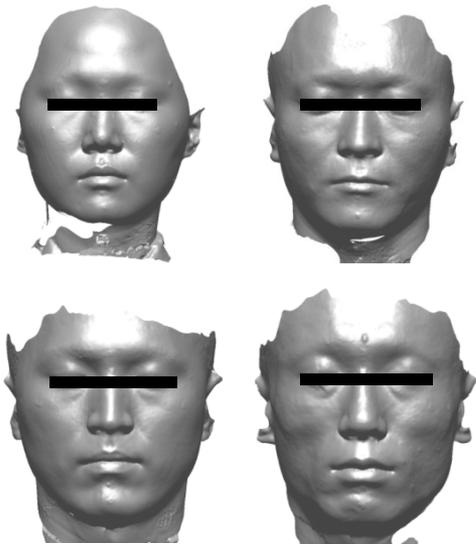


Clay의  
3D scanning



RMFs를 기반으로  
3가지 치수 설계

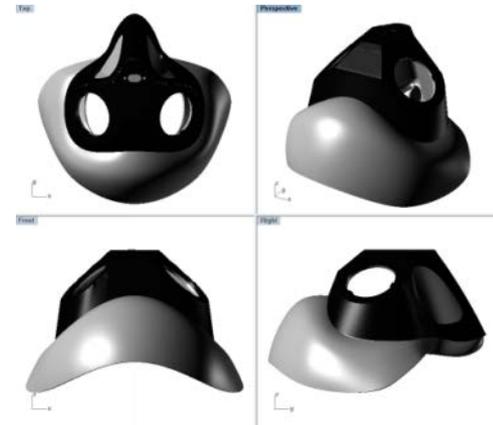
# Oxygen Mask Design Based on Virtual Fit Assessment Method



다양한 크기와 형상의 안면 3D scan data



Virtual mask fit assessment



산소마스크 최적 형상 설계



시제품 착용성 평가



시제품 제작

# Respirator Fit Assessment

- 정성적 평가 방법: 마스크 외부에 비산된 aerosol (예: banana oil)의 마스크 침투 여부를 주관적으로 검출
- 정량적 평가 방법: 장비를 사용하여 호흡구 내부 및 외부의 aerosol 농도를 측정
- 추후 연구 issues
  - ✓ 기존 방법은 외부 공기의 호흡구 내 침투 여부 파악이 주 목적  
⇒ 산소마스크의 산소 누설 평가 방법 고려
  - ✓ 안면에 가해지는 압박감의 객관적 평가를 위한 실험적 방법 연구



Qualitative fit testing



INDUSTRIAL AND MANAGEMENT  
ENGINEERING, POSTECH



Quantitative fit testing system  
(PORTACOUNT PRO+, TSI Inc., USA)

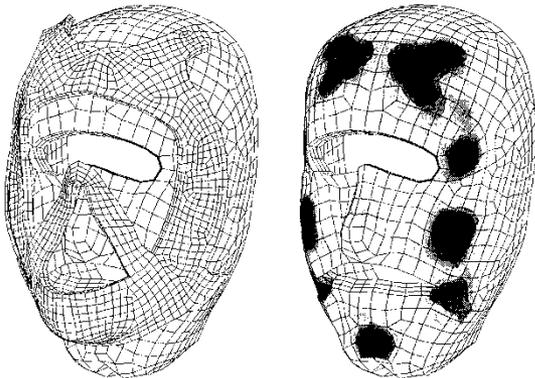
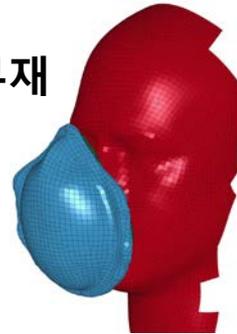


Combined Aircrew Systems Tester  
(Gentex Corp., USA)

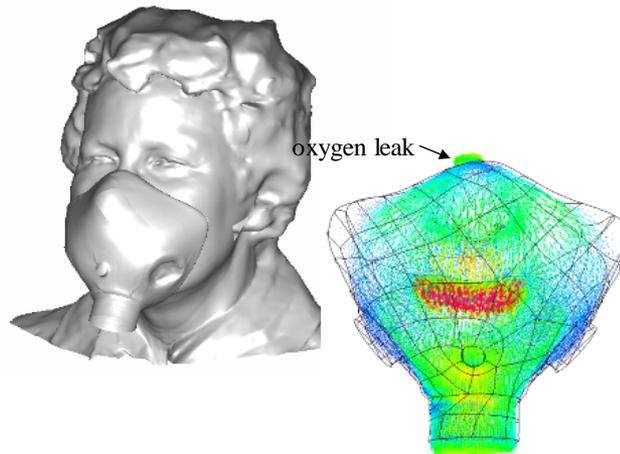
ERGONOMICS DESIGN  
Technology Lab

# FEM 기반 Virtual Fit Testing Method

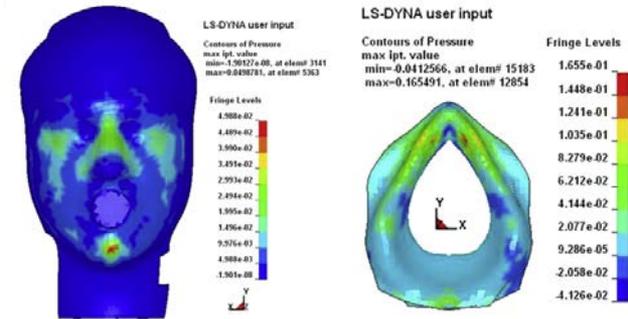
- 3D 안면 scan data와 호흡구 CAD를 활용하여 가상으로 착용성 평가
- Finite element method (FEM) 기반으로 밀착도, 압박도, 간섭(interference), 공기의 흐름, 산소 누설 등을 simulation
- 기존 연구의 한계
  - ✓ 호흡구를 안면에 착용시키는 방법(예: 착용 위치, 착용 특성)에 대한 고려 부재
  - ✓ 안면 크기와 형상이 다양한 사용자들에 대한 평가 부재
  - ✓ 가상 착의 평가 기반 최적 호흡구 형상 설계 방법은 제시되지 못함



Evaluation of fitness for full-face gas filtering mask (Piccione and Moyer Jr., 1997)



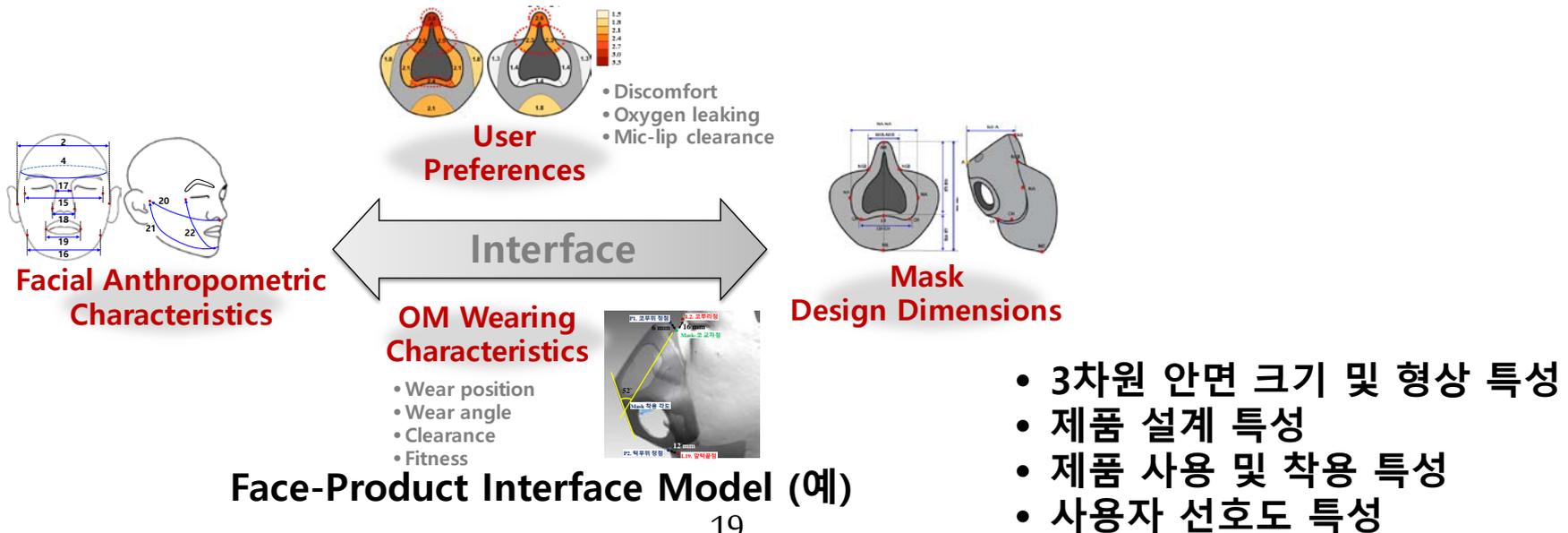
Evaluation of air flow and leakage based on CFD-ACE+ and CFD-GEOM FEM software (Butler, 2009)



Evaluation of pressure Based on LS-DYNA, FEM software (Yang et al., 2009; Dai et al., 2011)

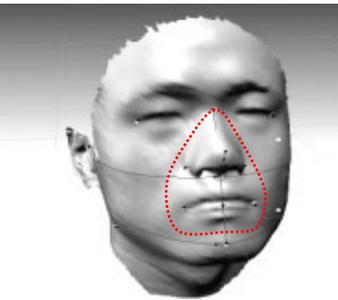
# Discussion (1/3)

- 3차원 안면 scan data 기반의 안면 착용 제품 설계 적용을 위한 제품 설계 방법론 개발이 필요
  - ✓ 다양한 인체 측정 조사 사업에서 3차원 머리/안면 scan data (예: CAESAR®, Size Korea, Size China 등) 수집
  - ✓ 안면 착용 제품(예: 산소마스크, 필터마스크, 방독면, 보호안경, 귀마개, 헬멧 등)에 다양하게 활용되지 못하고 있음
  - ✓ 안면, 제품, 그리고 안면-제품 간 interface의 종합적 이해에 기반한 체계적인 제품 설계 방법 개발 필요

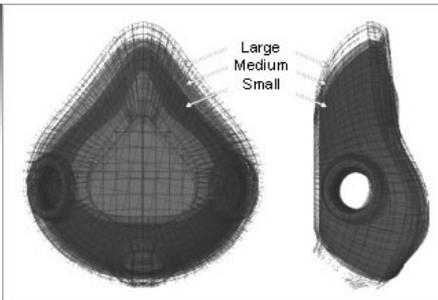


# Discussion (2/3)

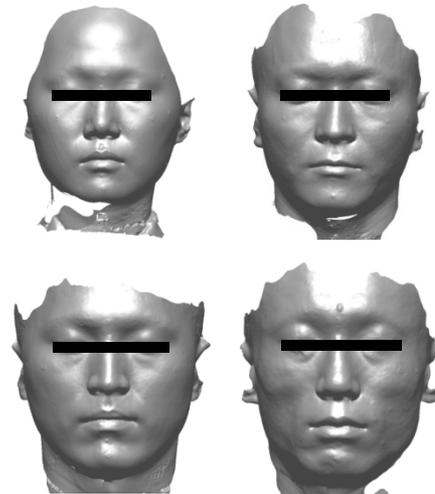
- **설계 대상 인구 다수의 3차원 안면 data를 이용한 제품 설계 기법 개발이 필요**
  - ✓ 기존 연구들은 3차원 scan data로부터 **대표 안면 모델 선정**한 후, **대표 안면 모델의 형상 profile**만을 이용하여 제품 형상 설계
  - ✓ **다양한 크기 및 형상의 3차원 scan data**를 모두 적용하여 제품을 설계하기 위한 **digital 설계 방법 필요**



대표 안면 모델의  
3D scan 형상



대표 안면 모델 기반  
마스크 형상 설계



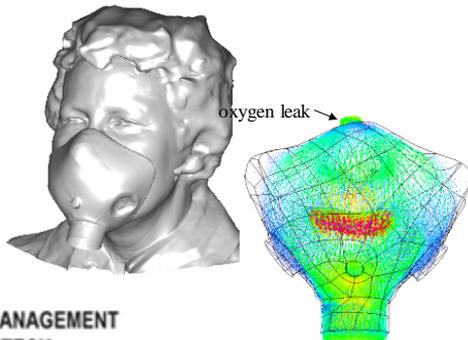
다양한 크기와 형상의  
안면 3D scan data



Virtual mask fit assessment

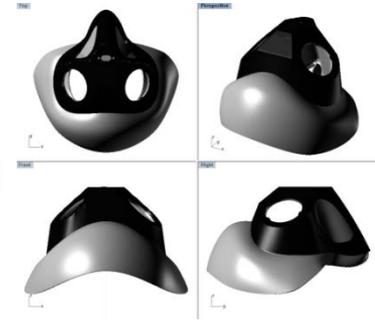
# Discussion (3/3)

- 제품 사용 집단 다수에 대해 **설계 적합성 평가 필요**
  - ✓ 기존 연구는 개발된 호흡구의 형상이 **사용자 집단 다수에 대해 적합한지 주관적 및 객관적 측면에서의 검증 부족**
  - ✓ Virtual fit assessment
    - 다양한 크기와 형상의 3D 안면 data에 제품을 착의하며 밀착도, 압박도 등을 simulation
    - 제품 **prototype 제작 전** 호흡구의 설계 적합성을 다양하게 평가  
⇒ 설계 문제 예측 및 형상 수정 용이
  - ✓ 제품 **prototype 제작 및 착용성 비교 평가**
    - 주관적 평가: 착용감, 불편도, 기능 사용 용이성 등
    - **객관적 측정 평가: 산소 누설, 외부 공기 침투, 압박도**



# Q & A

## Thank you for your attention!



[edt.postech.ac.kr](http://edt.postech.ac.kr)  
[mcury@postech.edu](mailto:mcury@postech.edu)