

Virtual Fit Testing 기법 기반의 조종사 산소마스크 설계 방법 개발

Development of a Methodology to Design a Pilot Oxygen Mask based on Virtual Fit Testing Method

^a이원섭, ^b정정림, ^c손동훈, ^d박세권, ^e정대한, ^f김희은, ^g유민지, ^h박춘식 ⁱ유희천

^a포항공과대학교 산업경영공학과

^bLoughborough University, Environmental Ergonomics Research Centre

^c공군사관학교 산업공학과

^d경북대학교 의류학과

^e공군 군수사령부

Abstract

F-15 및 F-16 전투기 조종사들이 착용하는 산소마스크는 미공군의 안면부 측정자료를 기반으로 설계되어 한국인 조종사의 얼굴에 맞지 않아 개선이 요구된다. 본 연구는 현행 산소마스크의 형상 개선을 위해 한국인 조종사의 안면부 측정 자료(22개 안면부 측정 항목, 3D 안면부 scan data), 마스크 착용 특성(착용 위치, 착용 각도, 압박도, 밀착도, 여유공간), 그리고 주관적 착용감 평가(부위별 압박도 및 밀착도)를 기반으로 현행 산소마스크의 설계 개선 전략을 수립한 후, virtual fit 평가 방법을 사용하여 산소마스크 설계를 개선하였다. Virtual fit 평가는 3D scan된 조종사 얼굴에 현행 및 개선 산소마스크의 CAD를 가상으로 착용시켜 현재 설계의 문제점 혹은 설계 개선 효과를 안면부 부위별 압박도, 밀착도, 여유공간 측면에서 정량적으로 평가하는 방법이다. Virtual fit 평가를 통해 설계 개선된 산소마스크는 기존 산소마스크에 비해 콧대 부위의 밀착도(16 ~ 59% 밀착도 향상)와 압박도(11 ~ 30% 압박도 감소) 측면에서 설계 개선 효과를 보이는 것으로 파악되었다. 본 연구에서 제안된 virtual fit 평가 기법을 사용한 일련의 산소마스크 개발 방법은 다양한 3차원 scan 기반의 인체 착용 제품 설계에 응용될 수 있다.

1. 서론

조종사 산소마스크는 전투기 조종사들이 안전하고 원활하게 임무를 수행할 수 있도록 지원하는 중요한 장비이나 미국 공군 안면부 data를 기반으로 설계되어 일부 한국 공군 조종사에 맞지 않고 코 부위에 과도한 압박감이거나 산소 누설을 발생시키는 것으로 나타났다.

조종사 산소마스크는 조종사의 코와 입을 동시에 덮는 반면형(half-face) 마스크로서 산소가 희박한 높은 고도에서 임무를 수행하는 조종사에게 지속적이고 안정적인 산소 공급을 도와준다. 또한, 마스크의 내부에는 마이크가 장착되어 조종사가 용이하게 통신할 수 있도록 한다. 하지만 현행 산소마스크는 미공군의 안면부 측정 자료를 이용하여 설계되었기 때문에 한국인 조종사의 얼굴에 적합하지 않아 대한민국 공군에서 2006년에 실시한 항공장구의 사용성에 대한 설문조사는 산소마스크가 한국인 조종사들의 콧대(nasal bridge) 부위에서 과도한 압박 혹은 산소 누설을 유발하는 것으로 보고하고 있다.

기존 산소마스크 설계 연구들은 마스크 사용자의 안면부 크기 및 형상을 기반으로 마스크 형상을 설계하고자 하였으나 설계 대상 인구 다수에 대한 안면부 형상 특성 및 마스크 착용 특성이 체계적으로 고려되지 않았다. Han & Choi (2003)와 Han et al. (2004)은 한국인의 얼굴형에 적합한 반면형 산업용 방진 mask를 개발하기 위해 안면부 크기가 다양한 50명(26 males, 24 females)의 안면부 10개 부위(face width, bigonial breadth, face length, lower face length, subnasal-nasal root length, nose width, lip length, bitragion-subnasal arc, bitragion-menton arc, nose protrusion)를 측정하고 안면부를 3D scan하였다. 측정된 안면부를 토대로 치수별(L, M, S) 평균얼굴을 파악하고, 3D scan된 사람 중 평균얼굴과 가장 근접한 사람(대표안면부모델)의 안면부를 석고로 제작하여 제작된 석고를 토대로 마스크 시제품을 제작하였다. 하지만 이 연구에서는 마스크 설계 개선 및 개선된 마스크의 평가 과정에서 3D scan된 안면부가 체계적으로 활용되지 못하였고, 마스크 착용 특성(예: 사용자별 마스크 착용 위치)이 고려되

지 못한 한계가 있다. 한편, Gross et al. (1997)는 전투기 조종사 산소마스크 형상 및 치수 개선을 위해 안면부 크기가 다양한 미공군 조종사 60명(남성 30명, 여성 30명)의 안면부 14개 부위(head circumference, bitragion-subnasale arc, head length, head breadth, face width, face length, sellion-bottom lip length, lower face length, bi-inframalar breadth, lip width, nasal root breadth, nose width, nose length, nose protrusion)를 측정하고, 안면부를 3D scan하였다. 이 연구는 3D scan된 안면부들을 활용하여 마스크의 특정 위치가 안면부에 밀착되는 정도를 통계적으로 분석하여 산소마스크의 형상을 설계 개선하고자 하였다. 하지만 이 연구는 기존 산소마스크의 치수 개선을 위해 3D 안면부 형상들에서 사이즈별 산소마스크를 대조하여 통계적으로 치수 적합성을 분석하는 것이 주된 연구 목적이었으며, 3D 안면부 scan data를 산소마스크의 안면부 밀착면 형상을 설계 변경하거나 착용성(fitness)을 평가에 직접적으로 활용하지는 않았다. 한편, 기존에는 안면부 치수 및 형상 특성이 반영되도록 마스크를 설계하거나 착용성을 평가하는 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구는 한국 공군 조종사의 안면부 특성에 적합한 산소마스크의 설계 개선을 위해 한국 공군 조종사의 안면부 특성, 산소마스크 설계 특성, 산소마스크 착용 특성, 그리고 주관적 선호도 분석을 통해 개선 사항을 파악하여 설계를 개선하고 virtual fit testing 방법을 적용하여 개선 효과를 비교 분석하였다. 본 연구에서 수립된 virtual fit 평가 기법 기반의 조종사 산소마스크 설계 방법은 한국인 전투기 조종사들이 착용하는 MBU-20/P 산소마스크의 medium narrow 사이즈의 설계 개선에 적용되었다.

2. Face-Mask Interface (FMI) 분석

FMI model

Face-mask interface (FMI) model은 그림 1과 같이 조종사 안면부, 산소마스크, 그리고 안면부와 마스크 간의 interface를 구성하는 4개 요소(안면부 치수 특성, 산소마스크 설계 특성, 산소마스크 착용 특성, 사용자 선호도)로 구성된다. 본 연구는 FMI model의 각 구성요소들의

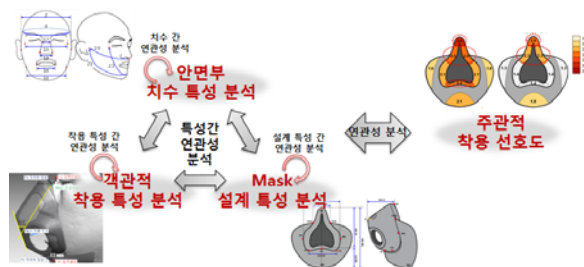
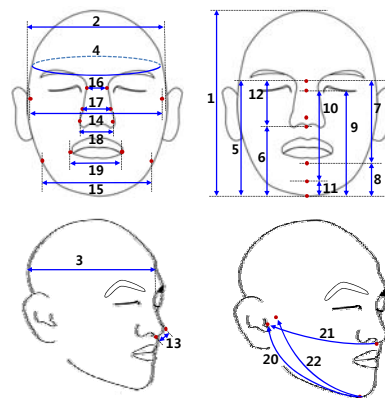


그림 1. FMI model의 구성요소 및 연관관계

특성 및 구성요소들 간의 연관성을 분석을 기반으로 한국인 조종사에 적합한 산소마스크 설계를 위한 체계적인 설계 방법을 제안하고자 한다.

한국인 조종사 안면부 치수 특성 분석

본 연구는 기존 안면부 치수 분석 연구를 참조하여 산소마스크 설계와 관련된 22개 안면부 측정 항목을 선정하고, 336명의 한국인 공군 조종사 안면부를 Martin식 anthropometer와 3D scanner를 사용하여 측정하였다. 15편의 국내외 안면부 치수 관련 문헌들(Ahn & Shu, 2004; Clauser et al., 1988; Enciso et al., 2003; Hack & McConville, 1978; Han et al., 2004; Hughes & Lomaev, 1972; Kim, 2004, 2005; Kim et al., 2004; Korean Agency for Technology and Standards, 2004; Oestenstad et al., 1990; Oh & Park, 2010; Yokota, 2005; Zhuang et al., 2010a, 2010b)의 review를 통해 109개(길이 53개, 너비 18개, 두께 24개, 둘레 14개)의 측정 항목들이 파악되었고, 인간공학 및 의류학 전문가 6명의 논의를 통해 반면형 마스크 설계에 관련된 22개(길이 11개, 너비 7개, 둘레 4개) 항목들이 최종 선정되었다(그림 2 참조). 선정된 22개 안면부 측정 항목은 직접 측정법과 3D 측정법을 사용하여 한국인 공군 조종사들(남성 조종사 278명, 여성 조종사 6명, 공군사관학교 여생도 52명)에 대해 측정되었다. 머리 관련 4개 항목들(head height, head breadth, head length, head circumference)은 직접 측정되었으며, 나머지 18개 항목들은 REXCAN 560 3D scanner (Solutionix Co., South Korea)와 ezScan software (Solutionix Co., South Korea)를 사용하여 3D로 측정되었다. 본 연구는 안면부 치수들과 함께 3D 안면부 scan data를 입수하였다.



1. head height, 2. head breadth, 3. head length, 4. head circumference, 5. face length, 6. lower face length, 7. sellion-bottom lip length, 8. bottom lip-menton length, 9. nasal bridge-menton length, 10. nasal bridge-chin length, 11. chin-menton length, 12. nose length, 13. nose protrusion, 14. face width, 15. chin width, 16. nasal root breadth, 17. maximum nasal bridge breadth, 18. nose width, 19. lip width, 20. bitragion-menton arc, 21. bitragion-subnasal arc, 22. bizygomatic-menton arc

그림 2. 선정된 22개 안면부 측정 항목

산소마스크 설계 특성 분석

MBU-20/P 산소마스크를 구성하는 부품인 hardshell과 facepiece의 설계 제원은 3D scanner와 Immersion MicroScribe® 3D Digitizer (Revware Inc., USA)를 사용하여 계측되었다. 산소마스크의 설계 제원은 길이 3개, 너비 3개, 그리고 폭 1개 항목에 대해 계측되었다. 기존 산소마스크의 길이는 대체적으로 mask size 증가에 따라 일정하게 증가하는 추세를 보이거나, 너비와 깊이는 mask size 증가에 따른 길이 증가 추세를 보이지 않거나 hardshell은 기존 설계 landmark(Gross et al., 1997)와 차이를 보여 설계 합리성이 낮은 것으로 해석된다(그림 3 참조).

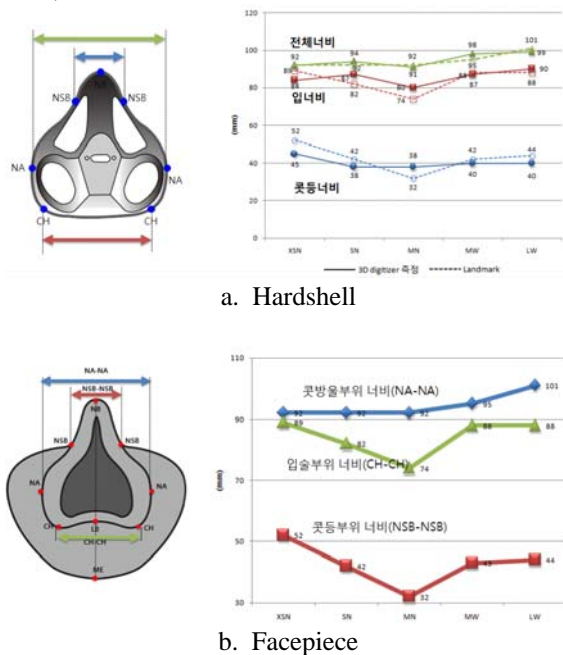


그림 3. 산소마스크 크기별 설계 특성 분석 예

산소마스크 객관적 착용 특성 분석

본 연구는 medium narrow 사이즈를 착용하는 조종사 23명을 대상으로 산소마스크 착용 사진을 촬영한 후, 마스크 착용 사진과 일치하게 되도록 가상 환경에서 마스크 CAD를 3D 안면부 scan data에 alignment하는 방법으로 산소마스크 착용 특성을 파악하였다. 3D alignment 후, 산소마스크 착용 특성이 착용 각도, 코 및 턱 부위 착용 위치, 여유공간, 안면부 부위별 압박도 및 밀착도 측면에서 파악되었다(이원섭 외, 2011). 산소 마스크 착용 각도는 마스크 전면부와 콧대의 각도를 의미한다. 마스크 착용 위치의 예로, 턱 부위의 마스크 착용 위치는 앞턱끝점(promentale)과 마스크의 턱 부위 landmark (P2) 간의 거리로 파악될 수 있다(그림 4 참조). 압박도 및 밀착도는 가상환경 상에서 마스크가 안면부 표면 간 내부로 침투된 거리로 파악된다.

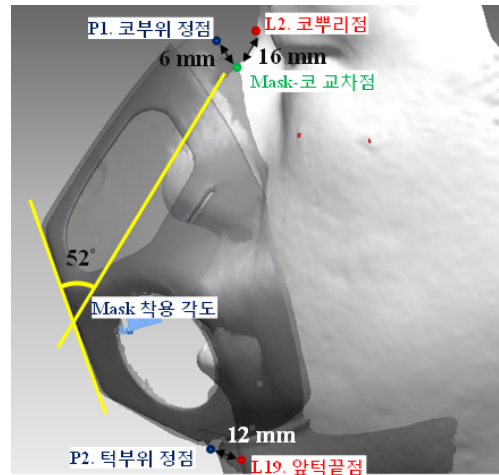


그림 4. 산소마스크 착용 특성 분석 예

산소마스크 주관적 착용 선호도 분석

산소마스크 착용에 대한 선호도는 안면부 부위별 압박으로 인한 불편도, 밀착 결여로 인한 산소누설, 그리고 마이크-입술 접촉 여부 측면에서 산소마스크 착용 한국인 공군 조종사들에 대해 수집되었다. 불편도 및 산소누설은 5점 척도(불편도 예: 1점 = 불편 없음, 5점 = 극히 불편)로 평가되었다. 본 연구는 전반적인 불편도나 산소누설이 없거나 미비하다고 응답(1점과 2점)한 조종사들을 제외한 나머지 응답자들(전반적 불편도 또는 산소누설 점수 ≥ 3 점)에 대하여 주관적 불편도 및 산소누설도를 분석하였다. 압박으로 인한 불편도는 콧대(평균 3.0점)와 코 옆(평균 2.5점)에서 점수가 상대적으로 높았으며, 입술 밑의 경우는 facepiece의 reflective seal이 입술을 자극하여 불편(평균 2.5점)한 것으로 파악되었다(그림 5 참조). 산소누설 점수 역시 콧대(평균 2.6점)와 코 옆(평균 2.3점)에서 상대적으로 높은 점수를 보여 산소마스크의 코 부위 형상 개선이 중요시되는 것으로 파악되었다. 그 외에 산소마스크 내부에 설치된 마이크가 입술에 접촉하여 불편하다고 호소하는 조종사가 53%인 것으로 조사되었다.

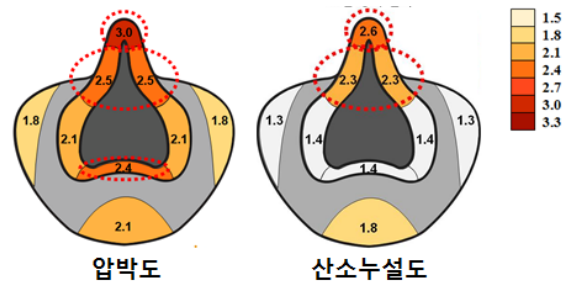


그림 5. 사용자 선호도 분석 결과

3. 산소마스크 설계 개선 방법

본 연구는 MBU-20/P 산소마스크 중 우선적으로 조종사들의 61.4%가 사용하고 있는 medium narrow 사이즈를 대상으로 본 연구에서 제안한 산소마스크 설계 방법을 적용하였다. 설계 개선은 그림 6과 같은 5단계 절차로 수행되었다.

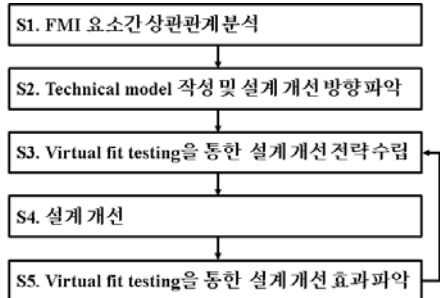


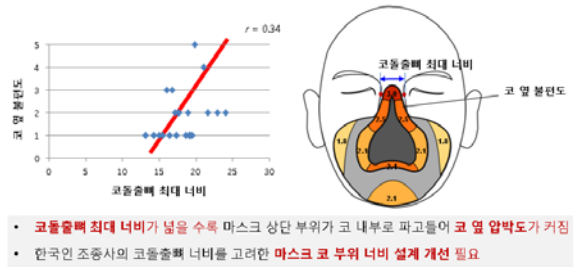
그림 6. 산소마스크 설계 개선 절차

설계 개선 대상

본 연구는 산소마스크 사용자 선호도 분석 결과와 착용 특성 분석 결과를 바탕으로 MBU-20/P 산소마스크의 개선 항목으로 안면부 밀착면 형상, 코 부위 너비 및 형상, 그리고 microphone 부착 위치를 선정하였다. 현행 산소마스크의 안면부 밀착면 형상은 미공군의 안면부 측정 data를 기반으로 설계되었으므로 한국인 조종사에 적합하도록 수정될 필요가 있다. 특히 한국인 조종사들이 가장 불편하다고 언급한 산소마스크 코 부위의 과도한 압박 및 밀착도 결여 문제를 개선하기 위한 코 부위 밀착면 크기와 형상을 중점적으로 개선하고자 하였다.

S1. FMI 요소간 상관관계 분석

본 연구는 산소마스크 착용 사진 기반의 마스크 착용 특성 분석에 참여한 23명의 조종사를 대상으로 medium narrow 사이즈에 대한 안면부 치수 특성, 객관적 착용 특성, 그리고 주관적 착용 선호도 간의 상관관계(그림 1 참조)를 분석하였다. 상관관계는 24개 안면부 치수 특성, 14개 마스크 착용 특성, 그리고 15개 주관적 선호도 특성간의 1,746개 항목에 대하여 분석되었다. 본 연구는 1,746개 연관성 분석 항목들 중 상관계수가 0.4 이상($p \leq 0.05$)이거나 상관계수는 0.4보다 작으나 산점도(scatter plot) 상에서 연관성을 찾을 수 있었던 244개 항목을 추출하였다. 244개 항목 중에서 산소마스크 설계와 관련성이 낮은 항목(예: 머리 둘레 관련 항목, 머리 너비 관련 항목)을 filtering 하여 최종적으로 mask 설계와 관련성이 높은 57개 연관성 분석 항목을 파악하였다. 그림 7은 선정된 57개 항목 중 코돌출뼈 최대너비와 코 옆 불편도 간의 연관관계를 예시한다.



- 코돌출뼈 최대너비가 넓을 수록 마스크 상단 부위가 코 내부로 파고들어 코 옆 압박도가 커짐
- 한국인 조종사의 코돌출뼈 너비를 고려한 마스크 코 부위 너비 설계 개선 필요

그림 7. 연관성 분석 예 (코돌출뼈 최대너비 & 코 옆 불편도)

S2. Technical model 작성

본 연구는 설계 개선 대상별 FMI 특성 간 연관관계를 도식화한 technical model을 작성하여 설계 문제 및 개선 방향을 체계적으로 파악하고자 하였다. Technical model은 그림 8과 같이 안면부 치수 특성, 마스크 착용 특성, 그리고 주관적 착용 선호도 간의 연관관계를 도식화함으로써 선호 및 비선호 착용 특성을 체계적으로 파악할 수 있도록 한다. 그림 8은 마스크의 코 밀착 부위 형상 개선과 관련하여 코 압박도를 분석한 예로써, 코 압박도는 코 높이 및 코돌출뼈최대너비와 연관되는데, 가령 코가 높으면 마스크가 밀착하여 착용되어 코 압박도가 심해지고 코가 넓으면 마스크의 코부위 형상에 맞지 않아 코 압박도가 심해진다. 따라서 코 압박도 개선을 위해서는 한국인의 코 높이와 콧대 너비를 고려하는 것이 중요하다.

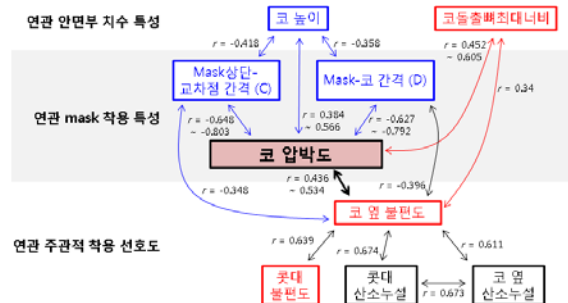
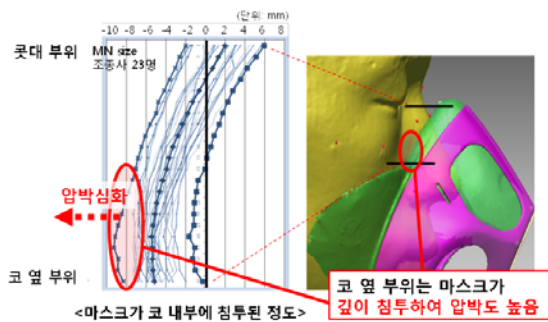


그림 8. 코 압박도 관련 설계 개선을 위한 technical model 예

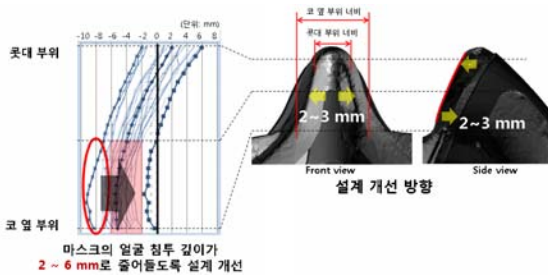
S3. Virtual fit testing 기반 설계개선 전략 수립

Virtual fit testing은 3D 안면부 data에 산소마스크 CAD를 자동으로 alignment하여 조종사별 산소마스크 착용 특성을 가상으로 평가하는 방법이다. 본 연구는 medium narrow 사이즈 착용자 23명의 사진 분석을 통해 파악된 마스크 착용 특성(착용 각도, 코 부위 착용 위치, 턱 부위 착용 위치의 평균 및 범위)대로 산소마스크 CAD가 3D 안면부 상에 위치하도록 하는 system을 Matlab(The Mathwork, Inc., USA)을 이용하여 개발하였다. 본 virtual fit testing system은 안면부 부위별 압박도, 밀착도, 그리고 여유공간 측면에서 산소마스크가 안면부에 적합한지를 분석한다(이원섭 외, 2011). 본 연구는 3D

안면부 scan data 중 medium narrow 착용자 113명을 대상으로 virtual fit testing을 수행하여 기존 산소마스크의 설계 문제를 정량적으로 파악하고 설계 개선 전략을 수립하였다. 마스크의 코 부위를 예로 들면, virtual fit testing을 통해 현재 medium narrow 사이즈의 조종사 산소마스크는 일부 조종사들의 코 옆부위에 과도한 압박(마스크의 코 내부 침투 깊이 ≥ 6 mm)을 초래하는 것으로 파악되었으며, 이를 해결하기 위해 마스크의 코 내부 침투 깊이가 2 ~ 6 mm가 되도록 설계를 개선하는 방향으로 설계 개선 전략이 수립되었다(그림 9 참조). 산소마스크의 안면부 침투 깊이란 마스크 CAD를 3D 안면부 상에 가상으로 밀착하였을 때 마스크가 얼굴 내부로 침투한 간격을 의미한다. 실제 산소마스크는 고무 재질이므로 얼굴 내부로 침투하지 않지만, 본 연구에서는 안면부 침투 깊이가 깊을수록 고무가 눌리면서 얼굴을 압박하는 정도(응력)가 클 것으로 간주하고 마스크의 얼굴 내부 침투 정도를 분석 지표로 정의하였다.



a. 설계 문제 분석



b. 설계 개선 전략

그림 9. 산소마스크 코 부위의 설계 문제 파악 및 설계 개선 전략 수립 예

Virtual fit testing의 reliability는 virtual fit testing의 결과와 산소마스크 착용 사진 기반의 face-mask virtual alignment 결과와의 비교를 통해 평가되었다. 사진 촬영된 23명에 대한 virtual fit testing 결과의 reliability는 산소마스크 착용 사진 기반의 face-mask virtual alignment 시 파악된 산소마스크 착용 특성치와의 차이가 기존 안면부 및 손 치수 측정 관련 연구(Ozsoy et al., 2009; Weinberg et al., 2005)에서 언급된

2 mm 이내로 나타나 reliability가 acceptable한 것으로 분석되었다.

S4. 설계 개선

본 연구는 기존 산소마스크의 3D scan한 후, 이를 역설계하는 방법으로 한국인 조종사에 적합하도록 산소마스크를 개선하였다. 본 연구는 기존 산소마스크를 3D scan data를 토대로 개선 대상인 코 및 안면부 밀착면 형상과 마이크 부착 위치를 이전 단계에서 파악된 산소마스크 설계 개선 전략에 따라 개선하였다. 개선 대상이 아닌 부위(예: 마스크 전면부, 주변부품 결합부 등)는 기존 산소마스크와 동일한 형상을 유지하였다. 산소마스크 설계를 위해 RapidForm 2006 (INUS Technology, Inc., Korea)와 Rhino 3D (McNeel, USA)가 사용되었다(그림 10 참조).

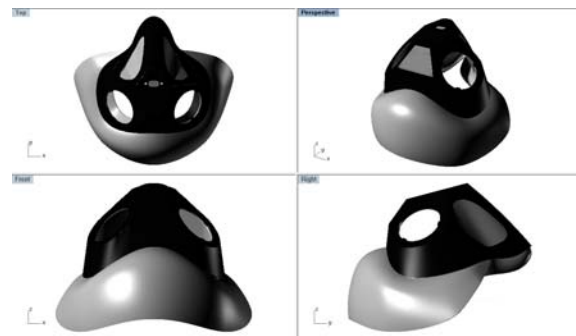


그림 10. Rhino 3D를 이용한 산소마스크 형상 개선 설계 예

S5. Virtual fit testing 기반 설계 개선효과 파악

본 연구에서 설계 개선된 산소마스크는 virtual fit testing을 통해 기존 마스크와 정량적으로 비교되었다. 본 연구는 개발된 virtual fit testing system을 활용하여 개선된 마스크를 안면부 부위별 압박도, 밀착도, 그리고 여유공간 측면에서 비교하여 개선된 설계가 설계 개선 전략에 부합하는지 평가하였다. 개선된 산소마스크에 대한 virtual fit testing은 기존 산소마스크의 virtual fit testing과 동일한 medium narrow 사이즈의 113명을 대상으로 수행되었다. 개선된 설계가 설계 개선 전략을 충족하지 않은 경우는 설계를 변경하는 과정을 반복적으로 수행하면서 설계 개선 효과가 높은 설계안을 도출하고자 하였다(그림 6 참조).

4. 설계 개선 효과 평가

가상 착용성 평가

본 연구에서 개선된 산소마스크는 virtual fit testing을 통해 개선 효과를 정량적으로 비교할 수 있었다. 예를 들어, 본 연구는 현행

산소마스크의 코 옆 부위 압박도 개선을 위해 마스크의 얼굴 침투 깊이를 2 ~ 6 mm로 조절하고자 하였다(그림 11 참조). Virtual fit 분석 결과에 따르면, 기존 산소마스크는 코 옆 부위에서의 마스크-얼굴 침투 깊이 설계 기준(2 ~ 6 mm)을 수용하는 조종사가 전체의 59 ~ 75%였으나 개선된 산소마스크는 설계 기준 수용률이 73 ~ 93%로 11 ~ 30% 정도의 압박도 감소 효과가 있는 것으로 파악되었다. 콧대 부위의 밀착도에 대해서는 마스크-얼굴 간격(마스크가 얼굴에 밀착되지 않고 떨어져 있는 거리)의 설계 기준(≤ 2 mm)을 수용하는 조종사가 기존 41 ~ 84%에서 개선 후 100%로 밀착도가 16 ~ 59% 정도 향상된 것으로 나타났다.

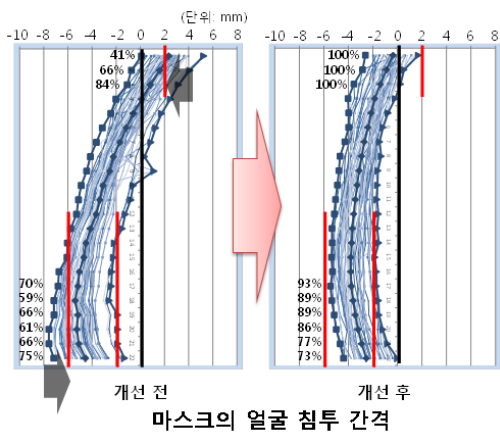


그림 11. Virtual fit testing 기반의 설계 개선 효과 분석 예

5. 토의

본 연구는 산소마스크 사용자 다수의 안면부의 3D scan data를 체계적으로 활용하였다. 기존 연구는 산소마스크 설계를 위해 대표인체 모델의 3D 안면부 형상을 사용하거나(Han & Choi, 2003; Han et al., 2004) 선별된 인원의 3D 안면부 형상을 사용하였는데(Gross et al., 1997), 이들 연구들에서는 산소마스크 사용자 다수의 안면부 크기 및 형상 특성을 체계적으로 고려하지 못하였다. 반면 본 연구는 통계적 기법을 파악된 최소 표본 크기를 만족하는 336명의 안면부의 3D scan data를 입수하여 산소마스크 설계에 활용하였다(정정림 외, 2011). 또한, 기존 연구들은 3D 안면부 scan data를 활용함에 있어 안면부의 크기 또는 안면부 밀착의 곡면 정보만을 파악하여 산소마스크 설계에 적용하고자 하였으나, 본 연구는 조종사 개개인의 3D 안면부 형상들에 산소마스크 CAD를 가상으로 착의시킨 후 마스크의 착용성(예: 압박도, 밀착도, 여유공간)을 정량적으로 평가하는 virtual fit testing 방법을 개발 및 적용하였다.

본 연구는 사용자의 안면부 특성뿐만 아니라 산소마스크 착용 특성(착용 각도, 코 부위 착용 위치, 턱 부위 착용 위치의 평균 및 범위)과 마스크 착용 선호도를 파악하고 이들 간의 연관관계를 고려한 체계적인 산소마스크 설계 방법을 개발하였다. 본 연구는 face-mask interface (FMI) 분석을 통해 안면부 특성(예: 코 너비), 산소마스크 착용 특성(예: 마스크를 압박하여 착용), 그리고 산소마스크 착용 선호도(예: 코 부위에 과도한 압박감) 간의 연관관계를 면밀하게 파악할 수 있었다. 또한, FMI 요소들 간의 연관관계 분석을 토대로 technical model을 작성함으로써 산소마스크 설계 방향(예: 콧대가 넓더라도 과도하게 압박되지 않도록 마스크의 콧대 부분 너비 및 형상을 개선)을 체계적으로 수립할 수 있었다.

본 연구는 가상 환경에서 산소마스크를 3D 안면부 data에 착용시키는 virtual fit testing 기법을 개발하여 활용함으로써 기존 산소마스크의 설계 문제와 개선된 산소마스크의 개선 효과를 정량적으로 파악할 수 있었으며, 설계 개선 효과를 높이도록 반복적인 설계(iterative design)를 수행할 수 있었다. 본 연구는 virtual fit testing을 활용함으로써 FMI 분석을 파악된 설계 개선 방향에 대한 정량적인 설계 개선 기준을 제시할 수 있었으며, 개선된 설계가 설계 개선 기준을 수용하는 정도를 정량적으로 파악할 수 있었다. 또한, virtual fit testing 방법을 사용하면 설계 개선 효과가 효율적으로 분석되기 때문에 본 연구는 산소마스크 형상에 대한 세부적인 설계 수정을 반복적으로 수행하며 설계 개선 효과가 높은 설계안을 제작할 수 있었다.

본 연구에서 virtual fit testing 기반으로 설계 개선된 산소마스크는 시제품으로 제작되고 실 사용자인 한국인 조종사를 대상으로 평가될 예정이다. 본 연구에서 개발된 virtual fit testing 방법은 조종사들의 산소마스크 착용 사진(medium narrow 사이즈, 23명)을 분석하여 파악된 산소마스크 착용 특성에 의거하여 개발되었다. 하지만 virtual fit testing 기반으로 설계 개선된 산소마스크가 medium narrow 사이즈를 착용하는 나머지 한국인 조종사들에게 적합한지 여부는 실제 착용성 평가를 통해서 확인될 필요가 있다. 본 연구는 개선된 산소마스크의 시제품을 기존 산소마스크와 동일한 재질로 제작한 후, 실 사용자인 한국인 조종사들을 대상으로 주관적(예: 압박도, 산소누설, 전반적 만족도) 및 객관적(산소누설 평가, pressure film을 사용한 압박도 평가) 방법으로 착용성을 평가하고 virtual fit testing 방법의 타당성을 검증할 계획이다.

Acknowledgement

본 연구는 대한민국 공군 군수사령부의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- 이원섭, 정정림, 전은진, 손동훈, 박세권, 정대한, 김희은, 유희천 (2011). Development of a Design Method for an Aircrew Oxygen Mask based on 3D Face Scanning. *대한인간공학회 2011 춘계학술대회지*.
- 정정림, 이원섭, 박장운, 이백희, 전은진, 손동훈, 박세권, 정대한, 김희은, 유희천 (2011). 3D 측정을 통한 한국인 조종사 안면부 치수 분석. *대한인간공학회 2011 춘계학술대회지*.
- Ahn, Y., & Shu, M. (2004). A study on the head type of Korean women's for headgear pattern making. *The Research Journal of the Costume Culture*, 12(6), 1021-1030.
- Clauser, C., Tebbetts, I., Bradtmiller, B., McConville, J. T., & Gordon, C. C. (1988). *Measurer's Handbook: U.S. Army Anthropometric Survey 1987-1988* (NATICK/TR-88/043). Natick, MA: U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center.
- Enciso, R., Shaw, A., Neumann, U., & Mah, J. (2003). 3D head anthropometric analysis. *Proceedings of the SPIE Medical Imaging*, 5029, 590-597.
- Gross, M. E., Taylor, S. E., Mountjoy, D. N., & Hoffmeister, J. (1997). *Antropometric research on the sizing of the MBU-20P* (AFRL-HE-WP-TR-2002-0181). Wright-Patterson Air Force Base, OH: Human Effectiveness Directorate, Crew System Interface Division.
- Hack, A. L., & McConville, J. T. (1978). Respirator protection factors: Part I - Development of an anthropometric test panel. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39(12), 970-975.
- Han, D., & Choi, K. (2003). Facial dimensions and predictors of fit for half-mask respirators in Koreans. *Aiha Journal*, 64(6), 815-822.
- Han, D., Rhi, J., & Lee, J. (2004). Development of prototypes of half-mask facepieces for Koreans using the 3D digitizing design method: A pilot study. *Annals of Occupational Hygiene*, 48(8), 707-714.
- Hughes, J. G., & Lomaev, O. (1972). An anthropometric survey of Australian male facial sizes. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 33(2), 71-78.
- Kim, S. (2004). Analysis on the measurement and shape classification of the head and face for Korean female children aged 9~12 years. *The Research Journal of the Costume Culture*, 12(5), 757-768.
- Kim, S. (2005). Analysis on the shape classification of the head of Korean female children for the headwear sizing system. *The Research Journal of the Costume Culture*, 13(2), 200-208.
- Kim, S., Lee, H., & Choi, H. (2004). Analysis on the measurement and shape classification of the head and face for Korean male children aged 9~12 years. *The Research Journal of the Costume Culture*, 12(6), 933-944.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2004). *The Report on the 5th Size-Korea (Korean Body Measurement and Investigation)*. Seoul, Korea: Size Korea, Ministry of Knowledge Economy.
- Oestenstad, R. K., Dillion, H. K., & Perkins, L. L. (1990). Distribution of face seal leak sites on a half-mask respirator and their association with facial dimensions. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 51(5), 285-290.
- Oh, Y., & Park, S. (2010). The facial anthropometry with 3D head scanner for designing Korean gas mask. *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*.
- Ozsoy, U., Demirel, B. M., Yildirim, F. B., Tosun, O., & Sarikcioglu, L. (2009). Method selection in craniofacial measurements: Advantages and disadvantages of 3D digitization method. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 37(5), 285-290.
- Weinberg, S. M., Scott, N. M., Neiswanger, K., & Marazita, M. L. (2005). Intraobserver error associated with measurements of the hand. *American Journal of Human Biology*, 17(3), 368-371.
- Yokota, M. (2005). Head and facial anthropometry of mixed-race US Army male soldiers for military design and sizing: A pilot study. *Applied Ergonomics*, 36(3), 379-383.
- Zhuang, Z. Q., Benson, S., & Viscusi, D. J. (2010). Digital 3-D headforms with facial features representative of the current US workforce. *Ergonomics*, 53(5), 661-671.
- Zhuang, Z. Q., Slice, D. E., Benson, S., Lynch, S., & Viscusi, D. J. (2010). Shape Analysis of 3D Head Scan Data for US Respirator Users. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2010(1).