

한국인의 얼굴체형에 알맞은 반면형 마스크의 개발(2) - pilot study -

한 돈 희* · 이 주 명¹⁾

인제대학교 보건안전공학과 · 인제대학교 디자인학부¹⁾

Development of Half-Masks Well-Fitting for Korean Faces (2) - pilot study -

Don-Hee Han · Joomyung Rhi¹⁾

*Department of Occupational Health & Safety Engineering, Inje University,
College of Design, Product Interaction Design Program, Inje University¹⁾*

This pilot study was conducted 1) to develop three face models for half mask design which are based on Korean fit-test panel and 2) to design three silicon prototypes (large, medium and small size) of half-masks well-fitting for Koreans. For a test panel, 50 subjects were selected on the basis of lip length and face length. Shape of faces from the test panel was scanned by 3D scanner (Minolta Vivid 900, Minolta). The facial dimensions scales for three standard faces were established from statistical analysis. To make a whole shape of faces fit the facial dimensions, the similar shape sample faces was selected from the test panel. The

physical model faces are made by Rapid Prototyper(BP; Z400, Z Corps). The sample faces are reshaped to fit the scales by a clay modeling method. Digitizing the model faces was made to recheck for fitting to the facial dimensions. Three types of masks are completed by digital modeling and tangible models are prototyped by RP. The silicon models (prototypes) are made and examined by simple naked eye test.

Key Words : Half-mask, Design, Fitting, Facial dimensions

I. 서 론

현재 국내에서 시판되고 있는 마스크의 경우 국산제품의 밀착도가 수입된 외국(미국)제품의 그것보다 훨씬 떨어져 오히려 국내에서 생산된 마스크가 한국인의

얼굴에 잘 맞지 않는 것으로 나타났다(박은주와 김현옥, 1995; 한돈희 등, 1997; 한돈희, 1998; HAN, 2000).

국산 마스크의 밀착정도가 외국산 마스크에 비해 현저하게 떨어지는 이유는 아직까지도 마스크 생산 업체가 과학적인

자료를 토대로 한국인의 얼굴 체형에 맞는 마스크 모델을 만들어 내지 못했기 때문이다. 현재 국내에서 생산되고 있는 마스크 대부분의 모형은 일본과 기술 제휴하여 일본인의 것을 그대로 모방한 경우가 많으며 심지어 미국의 제품(3M사 등)을 그대로 모방하여 만든 경우도 있다. 또한 가지 지적할 수 있는 것은 외국의 경우 동일한 모형의 마스크를 생산할 때에는 크기별로 대(L 사이즈), 중(M 사이즈), 중소(M/S 사이즈), 소(S 사이즈)로 구분하여

* 본 연구는 한국과학재단의 지역대학 우수과학자 지원연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

(과제번호: R05-2001-000-00684-0 (2002))

접수일 : 2003년 7월 21일, 채택일 : 2003년 9월 1일

† 교신저자 : 한돈희 (경상남도 김해시 어방동 607 인제대학교 보건안전공학과

Tel : 055-320-3285, E-mail : dhan@inje.ac.kr)

3~4개의 마스크를 생산하기 때문에 자신의 얼굴에 맞는 마스크를 선택하여 사용할 수 있으나 국내의 경우 치수별로 생산하지 않고 거의 모든 업체가 오직 M 사이즈 한 종류만 생산하고 있는 실정이다. 따라서 한국형 마스크 개발이 제대로 이루어지지 않은 현시점에서 한국인의 얼굴 체형에 적합한 반면형 마스크의 개발은 시급하다고 할 수 있다.

마스크를 디자인한다면 이미 만들어진 제품에 대해 밀착도 검사를 실시하기 위해서는 착용자들을 대표할 수 있는 일정한 인구집단이 필요한데 이것을 test panel이라고 한다. 이미 미국에서는 20 여 년 전에 이 test panel이 개발되어 사용되고 있다(Hack et al., 1974; Hack et al., 1978) Test panel을 구성할 때에는 전면형 마스크에 대해서는 얼굴 길이(face length)와 얼굴 폭(face width)을 이용하고, 반면형 및 1/4형 마스크인 경우에는 얼굴 길이와 입술 폭(lip width, 입술 길이 lip length라고도 함)을 얼굴치수 parameter로 이용하였다(Hack et al., 1978). 그러나 그 후 많은 연구에 의하면 어떤 얼굴치수가 마스크의 밀착도에 가장 적합한지 결론이 나지 않은 상태이다(한돈희 와 최국렬, 2002; Liau et al., 1982; Oestenstad et al., 1990; Oestenstad et al., 1992; Brazile et al., 1998).

과거 연구에 의하면 마스크를 디자인하기 위하여 얼굴치수를 측정하기도 하고 반대로 얼굴치수에 맞추어 마스크를 디자인하기도 하였다. 이미 Hughes와 Lomaev (1972)는 호주 남자들에게 알맞은 호흡기 보호구를 개발하기 위하여 호주 남자들에 대한 얼굴치수를 측정한 바 있으며 McConville 등(1975)은 미국 공군비행사들의 마스크를 개발하기 위하여 얼굴치수 프로그램을 개발하기도 하였다. 한편, Yatapane와 Post(1992)는 3-D 초음파 디지털화(sonic digitizer)를 이용하여 호주의 한 인구집단에서 착용 시 가장 편안함을 줄 수 있는 반면형 마스크를 디자인하기도 하였다.

이상과 같이 외국에서는 오래 전부터 자신들의 나라에서 일하는 작업자들의 건

강을 보호하기 위하여 그들에게 알맞은 마스크 개발에 심혈을 기울여 왔다. 이에 비해서 국내에서 아직까지 과학적인 자료를 근거로 한 한국인의 얼굴에 알맞은 마스크를 디자인하고 개발한 연구는 없는 실정이다.

본 연구의 목적은 3D 스캐너를 이용하여 1) 반면형 마스크 개발에 적합한 얼굴 및 두상 모형을 제작하고 2) 최종적으로 여기에 알맞은 즉, 한국인의 얼굴 체형에 알맞은 반면형 마스크의 prototype(원형)을 디자인하는 것이다.

II. 연구방법

1. 얼굴모형 개발을 위한 test panel의 구성

본 저자의 앞선 연구(한돈희와 최국렬, 2002)에서 한국인에 있어서 반면형 마스크의 밀착도와 얼굴 치수 parameter와의 관계를 규명하였다. 그 결과 한국인의 얼굴에 알맞은 반면형 마스크 개발을 위해서는 얼굴치수 중 Bitragion-Subnasale Arc (TRNA)와 Bizygomatic Breadth (ZYGO)이 두 개의 얼굴치수를 우선 고려하는 것이 바람직한 것으로 밝혀졌으나 공통적인 얼굴치수가 발견되지 않았기 때문에 마스크 개발 시에는 마스크의 밀착도와 전혀 관련성이 없는 것으로 밝혀진 Subnasale-Nasal Root Length(SNRL)를 제외한 9개의 모든 얼굴치수를 고려하는 것이 보다 과학적이고 합리적인 것이라는 결론을 얻었다.

이상과 같이 앞선 연구 결과 특정 얼굴 치수가 반면형 마스크의 밀착도에 미치는 영향이 명확하지 않고 앞서 언급한 것처럼 연구자들 사이에 서로 다른 결론을 내리고 있으며 현재도 많은 연구자들이 이와 관련한 연구가 진행되고 있으므로 논란의 여지를 줄이기 위해 본 연구에서는 입술 길이(lip length)와 얼굴 길이(face length)를 이용한 한국인의 반면형 마스크 test panel(한돈희, 1999)을 이용하기로 하였다.

이 test panel은 남자 13명, 여자 12명, 총 25명이 필요하지만 연구의 신뢰도를 높이기 위하여 그림 1과 같이 남자 26명, 여자 24명, 총 50명을 test panel로 구성하였다.

2. 얼굴치수의 계측

Test panel에 속한 피검자들에 대해 그림 2와 같이 10개의 얼굴치수를 실측하였다. 측정도구로는 Sliding caliper (Siber Hegner: No. 104)와 Spreading caliper (Siber Hegner: No.106) 및 줄자를 사용하였다.

3. 반면형 마스크 개발을 위한 표준 얼굴 및 두상의 설계와 모형 제작

1) (panel) (scanning)
피검자에 대한 안면부위를 3차원 스캐너(3D scanner)를 사용하여 디지털 모델로 전환하였다. 실제 작업은 얼굴 ‘스캐닝’과 스캐닝된 자료로부터 얼굴치수 10개의 측정치를 추출하는 ‘측정’의 2단계로 구성된다.

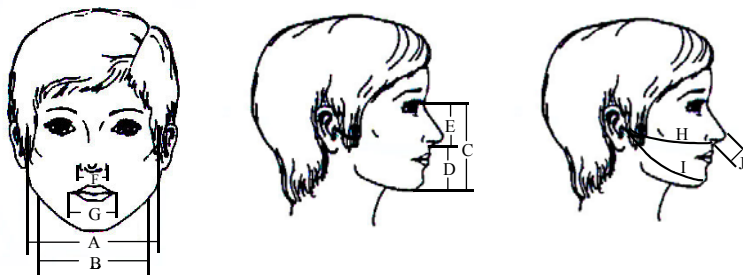
(1) 스캐닝 작업

얼굴 스캐닝을 위하여 사용된 장비는 Minolta Vivid 900 (laser slit beam type, Minolta, Japan)으로 1회 스캐닝 시 약 30만 포인트의 점군(點群)을 확보할 수 있으며 칼라 스캐닝이 가능하여 얼굴 스캐닝에 적당하고, 또한 분해능이 0.5 mm 정도이기 때문에 리버스(reverse) 엔지니어링 작업에는 부족하지만 기존 실측방법(캘리퍼, 줄자)에 비교하면 훨씬 정밀한 측정이 가능한 기기로 알려져 있다.

스캐닝 과정은 장소 정리, 대상자 입실, 준비(머리 정리, 자세설명, 주의사항), 스캐닝(3면: 정면, 45도 좌우측면), 스캐닝 결과의 검토, 승인, 퇴실로 구성되었다. 특히 기기의 특성상 얼굴 부위 중 스캐너의 정면에 위치한 부분만 스캐닝되기 때문에 입체적인 얼굴형상을 스캐닝하기 위해서는 3면으로 나누어 스캐닝하였다(그림 3 참조). 이때 스캐닝 대상이 표정이

		Lip length (mm)			
		36.5	44.5	52.5	60.5
Face length (mm)	134.5			4 M	2 M
	125.5	2 F	10 M	4 M	
	116.5	8 F	4 M 8 F	2 M	
	107.5	4 F	2 F		M : Male F : Female

Fig 1. Male and female, 50 member panel for half-mask used in this study.



- A. Bizygomatic Breadth (ZYGO) (Face Width)
 B. Bigonial Breadth (GONI)
 C. Menton-Nasal Root Length (MNRL) (Face Length)
 D. Menton-Subnasale Length (MSNL) (Lower Face Length)
 E. Subnasale-Nasal Root Length (SNRL)
 F. Nose Width (NOSW)
 G. Lip Length (LIPL)
 H. Bitrignon-Subnasale Arc (TRNA)
 I. Bitrignon-Menton Arc (TRMA)
 J. Nose Protrusion (NOSP)

Fig 2. Facial dimensions measured.

있는 사람의 얼굴이므로 표정의 변화와 자세로 인한 얼굴 근육의 변화가 최소화 되어야 하므로 회전식 의자와 측정 장소 내 시선고정표시를 사용하여 진행하였다.

스캐닝이 종료된 후 1인당 3면의 자료를 하나로 합치고 레이저 슬릿빔 방식으로 발생하는 표면의 요철현상 등을 보정하는 작업을 수행하였다.

(2) 측정 작업

측정은 Rapidform 2000 소프트웨어 (INUS Technology)를 사용하여 이루어졌다. Rapidform 2000은 스캐닝한 자료를 보정하고 다른 작업을 위한 자료 변환, 자료의 검사에 사용되는 프로그램이다. 10개 얼굴치수의 기준 정의를 바탕으로 디지털 모델에 맞게 측정선을 새롭게 정의(definition)하였다.

2) 표준 얼굴 및 두상의 설계와 모형 제작

얼굴치수에 대하여 실측치와 스캐닝치(컴퓨터에 의한 Vivid 촬영치) 사이의 오차정도를 알아보았다. 오차정도를 통계적으로 분석하여 실측치와 스캐닝치 중 어느 것을 사용할 것인지를 결정하고 다음 피검자(panel)의 얼굴을 크기별로 대중소로 구분하였다. 대중소로 구분한 얼굴치수 중에서 가장 근사한 값을 가진 피검자를 대중소별로 한 명씩 선정하고 이 피검자를 중심으로 컴퓨터 그래픽 상에서 평균치의 얼굴치수로 교정하였다.

마스크 디자인을 위한 얼굴 모형의 제작을 위하여 Rapid Prototyper(Z400, Z Corps사, 이하 RP라 칭함)를 사용하였다. RP는 디지털화되어 있는 모델을 신속히(6-8시간) 실체 모델로 만들어주는 장비이다. 제작된 실체 얼굴 모델을 수정하기 위하여 RP starch에 밀착 가능한 핸드코트를 사용하여 얼굴형을 수정하였다. 수정된 얼굴형이 정확히 제작되었는지를 확인하기 위하여 다시 3차원 스캐닝을 하여 처음과 같은 방법으로 각 부위의 치수를 확인하였다. 이때는 정밀도를 높이기 위하여 breukmann opto-top과 소프트웨어로는 역시 Rapidform 2000을 사용하였다.

4. 대중소형 반면형 마스크 prototype의 제작

대중소 얼굴 및 두상 모형을 바탕으로 RP를 사용하여 3개의 반면형 마스크를 디지털 모델링하였다. 그 다음 이것을 바탕으로 실리콘을 이용하여 실체 모형으로 제작하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 실측치와 스캐닝치(Vivid 촬영치) 사이의 관계

3차원 스캐너는 사물의 형상을 입체적으로 읽어 들여 디지털 데이터화하는 장비로서 리버스 엔지니어링, 마스크스터마이제이션, 캐릭터디자인, 유물보존분야

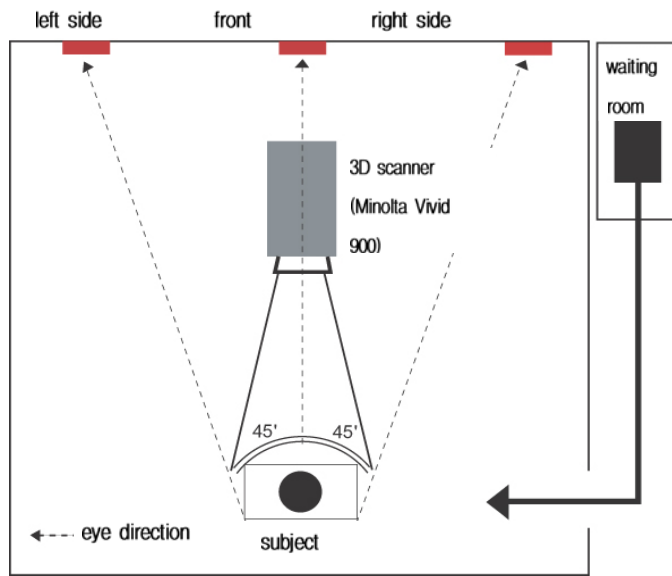


Fig 3. Schematic diagram of scanning method and subject's eye direction.

등에서 사용되고 있으나 아직 전반적으로 사용 초기 단계에 있기 때문에 연구의 목적에 따라 과정과 방법을 수립하는 것이 중요하다.

디지털화된 측정은 실측과는 달리 매우 정밀한 측정이 이루어지므로 각 포인트의 위치 선정과 측정 방법의 정의(definition)는 측정결과에 상당히 큰 영향을 미치게 된다. 디지털 모델의 특성상 실측 시 파악할 수 있는 촉감 특성 등을 반영할 수 없는 것도 측정결과에 영향을 미치고 일반적으로 캘리퍼와 줄자를 사용하여 얼굴을 직접 실측할 때 발생하는 실수도 둘 간의 측정치를 상이하게 만드는 원인이 될 수 있다.

이런 문제를 보완하기 위하여 얼굴치수의 실측치와 컴퓨터의 스캐닝치 즉 Vivid 촬영치 사이를 비교하여 보았다. 표 1에 서보는 바와 같이 전반적으로는 큰 차이를 보이지 않으나 NOSW는 스캐닝 치가 크고, LIPL, TRNA, 그리고 TRMA는 스캐닝 치가 작은 것으로 나타났다. 그 원인은

실측방법과 디지털 측정방법상의 차이로 볼 수 있다. NOSW는 실측 시에 코와 얼굴이 맞닿는 들어간 부분을 캘리퍼로 누르는 듯이 측정하는 반면, 디지털 측정에서는 코에서 가장 튀어나온 양 측면을 측정하는 것이 원인이었다. LIPL 측정에서 어서 차이는 스캐닝 측정이 입의 양끝이 안쪽으로 들어가는 시작점을 기준으로 한 반면 실측 시에는 캘리퍼의 특성상 그 포인트를 잡기 어렵고 안으로 들어간 부분을 측정하게 되는 것이 원인으로 보인다. TRNA와 TRMA는 다른 모든 측정치들이 직선거리를 측정함과 달리 곡선(또는 개별 얼굴 형상을 반영한 자유곡선)을 측정함에 따라 측정선의 정의가 달라질 수 있음을 지적하여야 하고 또한 줄자의 측정 방법이 캘리퍼 보다 더 정밀하지 못함을 인식하여야 한다. 이 둘은 모두 실측치가 상당히 큰 것으로 나타났는데(0.65-1.12 cm) 그 이유는 줄자에 의한 실측은 면을 휘어 곡선을 만들어 뺨에 밀착시켜야 하는데 특성상 얼굴표면에 완전 밀착이 어

려운 반면 디지털 측정은 정확히 표면상의 거리를 잡아내기 때문에 실측치가 스캐닝치보다 다소 길게 나타난 것으로 생각된다. 한편, MNRL과 MSNL은 실측치와 스캐닝 값 사이에 거의 차이가 없었다.

현재까지 검토된 바에 따르면 디지털 측정치가 실측치와 다른 것은 디지털 측정치가 갖고 있는 문제라기보다는 실측치의 오차 범위가 크다고 판단하였다. 또한 향후 디지털 모델링을 통하여 마스크가 설계되어야 하므로 컴퓨터 그래픽상 그 포인트 잡기가 어려웠던 ZYGO, GONI 그리고 NOSW의 스캐닝치는 실측치에 준하여 포인트를 잡고 길이를 산출하였고 나머지는 두 가지 측정방법 중 디지털 측정치를 기준으로 채택하였다.

2. 얼굴치수의 대·중·소 크기별 구분 및 근사값 피검자의 선정

마스크 디자인을 대·중·소 3개 모형으로 제작하기 위해서는 우선 얼굴치수를 대·중·소 크기별로 나눌 필요가 있다. 피검자의 얼굴을 3개 그룹으로 나누는 것이 아니라 얼굴치수별로 대·중·소 3개 크기로 구분하는 것이다. 그 다음 크기별로 근사값을 가진 피검자 즉, 각 크기별 평균얼굴을 가진 피검자를 가려내는 것이다. 이것은 본 연구의 특성상 모든 얼굴 및 두상의 크기를 대·중·소로 나누어 그래픽할 수 없었기 때문이다.

본 연구에서는 각 크기별로 평균얼굴을 선정하고 얼굴을 중심으로 10개 얼굴치수를 대·중·소 크기별로 그래픽 상에서 짜 맞추는 작업을 실시하였다. 얼굴치수를 크기별로 대·중·소로 나누고 가장 가까운 근사치의 얼굴 선정은 다음과 같은 통계방법을 이용하였다.

① 각 얼굴치수(10개)에 대한 a) 사분위수 혹은 b) 평균에 대한 표준편차를 이용

Table 1. Differences of measured values with instruments(MV) from scanning values with computer digitizing (SV).

Facial dimensions	ZYGO	GONI	MNRL	MSNL	SNRL	NOSW	LIPL	TRNA	TRMA	unit(cm)
										NOSP
MV-SV	-	-	-0.10	-0.06	0.00	-0.42	0.24	1.12	0.65	-

하여 대중소로 구분한다.

② 10개의 얼굴치수에 대하여 대중소 각 그룹의 평균을 구한다.

③ 10개의 얼굴치수에 대하여 대중소 각 그룹의 표준편차를 구한다.

④ ②에서 구한 10개 변수에 대한 각각의 평균값과 각 측정치에 대한 Mahalanobis 거리를 구한다. 이때에 단위가 큰 변수의 지나친 영향력을 조절하기 위하여 각 그룹의 표준편차를 가중치로 사용한다.

⑤ ④에서 구한 Mahalanobis 거리가 가장 작은 관측치를 각 그룹을 대표하는 측정치로 선정하였다.

이상과 같은 방법으로 구한 얼굴치수별 대중소와 근사치 소유자는 표 2와 3이다. 실측치와 스캔치 간에는 앞서 언급한 것처럼 약간의 차이가 있다. 따라서 근사

치를 가진 피검자의 선정에도 어려움이 있었다. 다행히 가장 많이 사용하는 마스크의 크기인 중간 크기가 실측치나 스캔치 모두 피검자 21번으로 동일하게 나타났다.

그림 4는 얼굴치수의 대중소 크기별로 근사치를 가진 피검자의 컴퓨터 그래픽상 그림이다.

3. 마스크 디자인을 위한 얼굴 모형의 제작

얼굴형의 근육 및 골격 요소 등을 파악하여 디자인하는 것은 상당한 숙련을 요하는 작업이며(Chungang Univ., 1994; Rioux, 1997; Yu et al., 2003) 본 연구와 같이 요구하는 외부적 치수가 정확히 일치하는 형태를 만드는 것은 매우 어려운 작

업이다. 근사치 피검자를 선정한 이유는 이런 이유에서 작업을 용이하게 진전시키기 위함이다. 본 연구에서는 근사치 피검자의 얼굴이 평균형과 거의 유사하여 수정이 최소화될 수 있는 것이 바람직할 것으로 판단되어 패널 중 근사치 얼굴을 선정하여 얼굴치수를 수정하는 방법으로 진행하였다.

실제 작업에 들어 가기 앞서 수정부위를 결정하기 위하여 통계적으로 유사한 것으로 인정된 (Mahalanobis 거리가 가까운) 피검자의 얼굴 치수와 표준형으로 설정된 얼굴 치수를 비교하여 검토하였다. 검토 결과 중형(medium, 21번)과 소형(small, 34번)은 수정부위가 부분적이어서 비교적 큰 문제없이 수정할 수 있었다. 하지만 대형(large, 24번)의 경우 전반적으로 그 크기가 작음을 알 수 있었다. GONI,

Table 2. Comparisons of means of values of facial dimensions with size (MV) and those of similar shape faces (SFV) in measured values with instruments.

		unit(cm)									
Size		ZYGO (A)	GONI (B)	MNRL (C)	MSNL (D)	SNRL (E)	NOSW (F)	LIPL (G)	TRNA (H)	TRMA(I)	NOSP (J)
Small	MV	13.1	11.2	10.9	6.1	4.0	3.1	4.2	26.3	29.9	1.8
	SFV (#51)	13.4	11.6	11.2	6.3	4.9	3.4	4.1	27.9	30.4	1.9
Medium	MV	13.9	11.8	11.6	6.7	5.0	3.4	4.6	29.2	31.7	2.1
	SFV (#21)	13.9	11.7	11.8	6.8	5.0	3.7	4.7	28.2	32.8	2.1
Large	MV	13A4.8	12.4	12.3	7.3	5.4	3.8	5.0	30.2	34.2	2.3
	SFV (#14)	14.3	12.4	12.1	7.1	5.0	3.9	5.5	28.3	33.1	2.2

Table 3. Comparisons of means of facial dimensions with size (MV) and those of a similar shape face (SFV) in scanning values with computer digitizing.

		unit(cm)									
Size		ZYGO (A)	GONI (B)	MNRL (C)	MSNL (D)	SNRL (E)	NOSW(F)	LIPL (G)	TRNA (H)	TRMA(I)	NOSP (J)
Small	MV	13.1	11.2	10.9	6.1	4.6	3.4	3.4	25.0	28.7	1.8
	SFV (#34)	13.4	11.3	10.8	6.1	4.0	3.7	4.6	25.7	28.8	1.9
Medium	MV	13.9	11.8	11.7	6.7	5.0	3.8	4.5	27.1	31.1	2.1
	SFV (#21)	13.9	11.7	11.6	6.5	5.0	4.0	4.4	25.7	31.7	2.1
Large	MV	14.8	12.4	12.5	7.5	5.4	4.2	5.2	29.1	34.0	2.3
	SFV (#24)	14.7	11.8	11.6	6.8	5.0	4.0	4.8	27.9	33.1	2.2

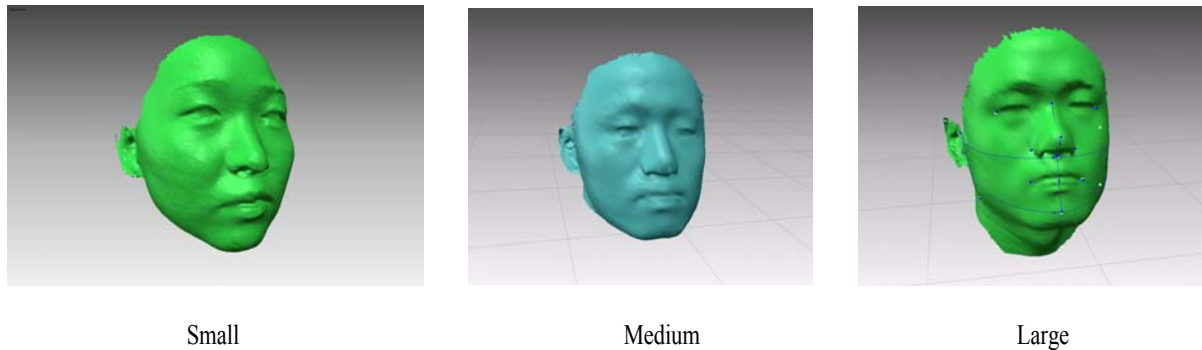


Fig 4. Computer graphics of similar shape faces of facial dimensions with large, medium and small size.

MNRL, TRNA, TRMA가 차이가 남을 알 수 있는데 GONI는 얼굴의 폭, MNRL은 얼굴의 길이, TRNA와 TRMA는 광대뼈와 뺨의 살 두께의 차이를 의미한다. 그 중 특히 MNRL이 다르다면 전체적인 골격이 다른 것이므로 눈, 코, 입의 위치도 수정되어야 하고 결국 전체 얼굴을 모두 수정해 새로이 얼굴을 만드는 것과 다를 바 없는 작업을 해야만 하였다. 통계적으로 의미 있는 형이 실제 작업 목적을 충족시킬 수 없음을 알게 되어 다시 한번 패널을 조사한 결과 새로운 대형(large, 20번)을 찾을 수 있었고 20번을 수정하는 작업에 착수하였다(그림 5와 6 참조). 통계적으로 의미 있는 형이 평균형과 그래프의 굴곡은 비슷했지만 전체적으로 일정 거리가 떨어져 있음을 알 수 있었고 두상 모형을 만들기 위해서는 굴곡의 모양은 다소 다르더라도 주요 치수가 동일함을 확인하는 것이 중요하였다.

대중소 3개 얼굴모형을 만드는 실제 작업은 먼저 선정된 근사치 피검자의 디지털데이터 3종을 실체로 뽑아내는 작업으로 시작되었다(Hsiao & Chuang, 2003). 이 작업을 위하여 역시 RP가 사용되었다. 제작된 실체 얼굴 모형을 수정하기 위하여 RP starch에 밀착 가능한 핸드코트를 사용하여 그림 7과 같이 얼굴형을 수정하였다. 수정된 얼굴형이 정확히 제작되었는지를 확인하기 위하여 다시 3차원 스캐닝을 하여 처음과 같은 방법으로 각 부위의 치수를 확인하였다. 이때는 정밀도를 높이기 위하여 breukmann opto-top(분해능 0.1mm

이하, Vivid 분해능 0.5mm) 스캐너를 사용하였으며 소프트웨어로는 역시 Rapidform 2000을 사용하였다. 스캐닝 이전에 핸드코트 작업 중 중간확인을 위하여 템플레이트를 제작하여 치수를 확인하면서 작업하여 스캐닝 작업을 한번에 마칠 수 있었고, 최종적으로 그림 8과 같이 대중소 3개의 표준형 얼굴모형이 제작되었다.

4. 대중소형 반면형 마스크 prototype의 제작

1) '기존 마스크에 대한 문제점 파악

본 연구가 한국인의 얼굴에 알맞은 즉, 밀착정도가 우수한 반면형 마스크의 시제품(prototype)까지 제작하는 것을 목표로 하고 있기 때문에 본격적인 마스크 디자인을 위하여 기존의 마스크들에 대한 구조분석과 착용상의 문제점, 형태적 특성을 파악하였다. 본 연구는 밀착도 향상이 주요 달성 목표로서 고무 본체 부분만을 연구의 대상으로 삼고 있지만, 고무 본체의 형상과 더불어 스트랩(조절 끈) 또한 밀착도를 높이는 중요한 요소가 됨으로

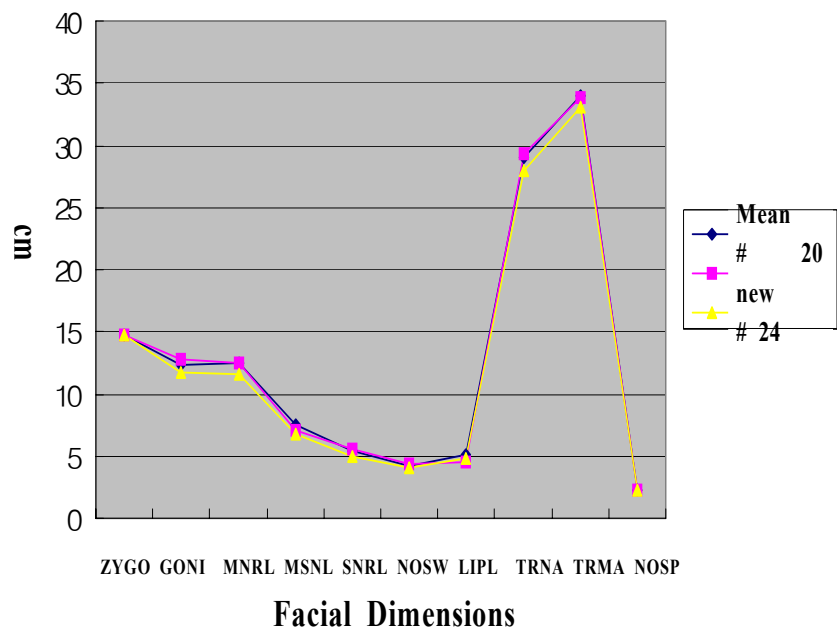


Fig 5. Comparison among mean, subject # 20 new and # 24 of facial dimensions for large size.

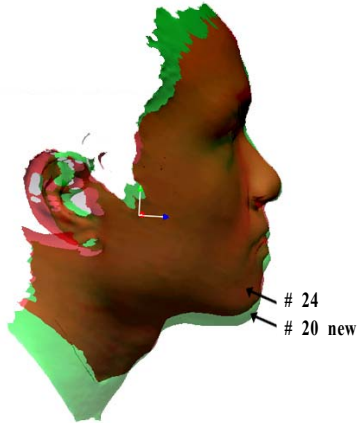


Fig 6. Computer graphics of comparison of subject # 20 new and # 24 for large si

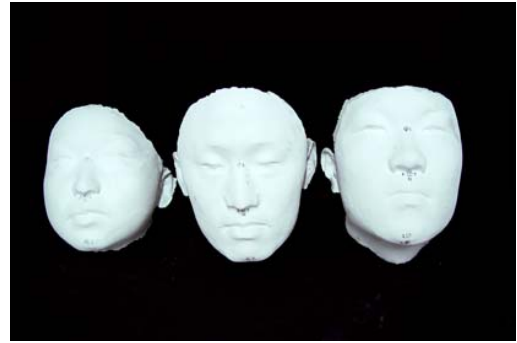


Fig 8. Features of 3 face models (small, medium and large) made by RP.



Fig 7. Pictures of correct working with clay modeling method.

착용상의 문제점을 파악하는 간이 사용성 평가를 실시하였다. 즉, 학생 3명을 대상으로 마스크를 쓰고 벗는 시험을 반복한 후 문제점 청취 및 비디오 분석을 통하여 확인하였다. 이때 사용한 마스크는 본 저자가 앞선 연구(한돈희와 최국렬, 2002)에서 사용했던 것과 동일한 브랜드의 국산 모델 2개와 외국산 모델 1개이었다.

국산 모델중 하나는 스트랩이 머리 형상에 맞지 않게 디자인되어 있어 쓰고 벗기가 매우 어렵고 흡배기 밸브 누설을 증가시키는 요인이 될 수도 있다고 파악되었다. 국산모델들은 밀착면이 얼굴 형상을 제대로 반영하지 못하고 있었고, 형태의 면과 선이 자체 형상을 유지하기 쉽지 않아서 밀착도를 높일 수 있는 탄성을 유지하지 못하고 신뢰성을 감소시키는 요인이 되고 있었다.

외국산의 경우 외국인의 얼굴 특징인

좁고 긴 형태를 가지고 있고 특히, 콧등 부위가 융기되어 있어 우리나라 사람의 얼굴에는 잘 맞지 않는 특성을 갖고 있지만 턱의 원형 곡면을 반영하여 디자인되어 있어 얼굴형이 서구형에 가까운 사람은 오히려 외국산이 편하다는 의견도 간이 사용성 평가에서 제시되었다.

흡배기 밸브 누설이 일어나는 부위는 턱 부분과 코 부위, 그리고 뺨 부위의 형상 및 밀착 면적이 영향을 미치는 것으로 추정되었다.

2) 컴퓨터 그래픽 디자인

그림 9와 같이 마스크 고무 본체는 다음 3개 부위로 구성되어 있으며 디자인은 이 3개 부위를 나누어서 실시하였다.

④ 얼굴 접촉면

⑤ 외피

⑥ 외피와 얼굴 접촉면을 연결시켜주는

연결부

구조 분석과 간이 사용성 평가를 통하여 추출된 디자인원칙은 다음과 같으며 그 원칙에 따라 모델링 진행되었고 전체 2mm 정도의 두께를 부여하였다.

①. 얼굴 밀착면 : ④

a-1. 코와 입 부위에 걸리지 않는 범위 내에서 가능한 넓은 면적을 차지하도록 하되 정면 선을 외피 선의 오프셋(offset) 개념에 가깝도록 형성한다.

a-2. 얼굴의 형상을 반영한 가능한 단순한 면으로 정리한다.

a-3. 턱부위를 감쌀 수 있는 형태를 만든다.

a-4. 코부위에 압박감 없이 밀착되도록 내측 파인 부위를 형성한다.

② 외피 : ⑤

b-1. 외곽 테두리의 정면선은 우리나라

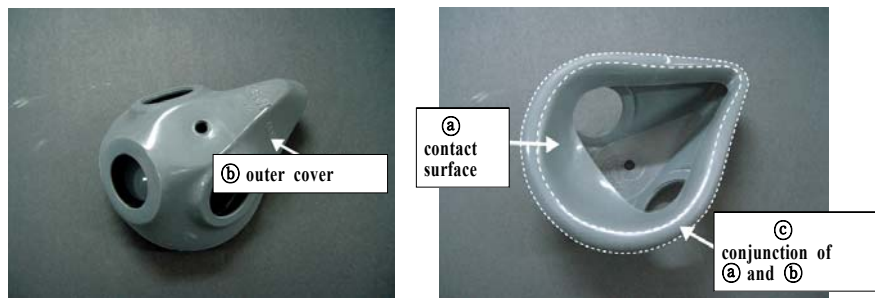


Figure 9. Three parts of half mask for design.

라 사람의 넓은 얼굴에 맞도록 좀더 둥글고 코 부위가 상대적으로 짧도록 하되 간략한 선으로 정의한다.

b-2. 중앙부위에 평면을 두어 외피 B가 일정한 형태를 유지할 수 있도록 모서리각을 형성한다.

③ 연결부 : C

c-1. 밀착면 A와 연결되는 부위는 모서리R을 부여하여 얼굴에 자극을 주지 않도록 한다. 모서리 R은 일정하게 하여 단순한 형상으로 구현한다.

c-2. 정면 선을 외피 선의 offset 개념에 가깝도록 형성한다.

그림 10은 이상과 같은 원칙에 따라 컴퓨터 그래픽 상에서 디자인한 것이다.

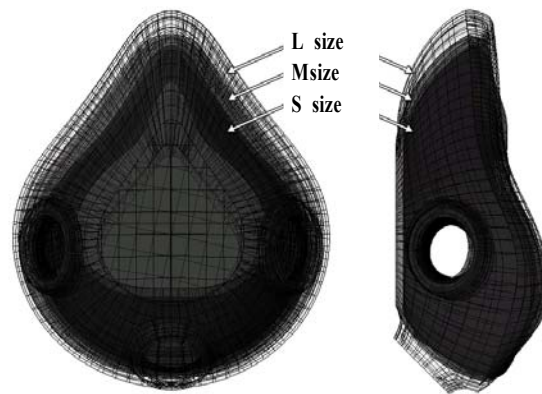


Fig 10. Features of design for half masks on computer graphics

3) (prototype) 제작
컴퓨터 그래픽 상에서 디자인 된 마스크(디지털 모델링)를 RP를 사용하여 실체 모형으로 제작하였으며 그것을 탄생있는

재질인 실리콘으로 다시 제작하여 실체에 가까운 대·중소 3개의 원형(prototype) 반면형 마스크를 시제품으로 제작하였다(그림 11 참조). 원형(prototype)을 제작되어 있는 얼굴 모형에 밀착시켜 외관상으로 확인한 결과 좋은 밀착정도를 보였으며(그림 12 참조) 대·중·소 근사치의 피검자

들에게 착용시켜 본 결과 기존 제품들에 비하여 외관상 월등하게 밀착이 잘 됨을 확인할 수 있었다.

5. 연구의 제한점 및 향후 연구과제

가장 큰 제한점은 test panel이 한국인을

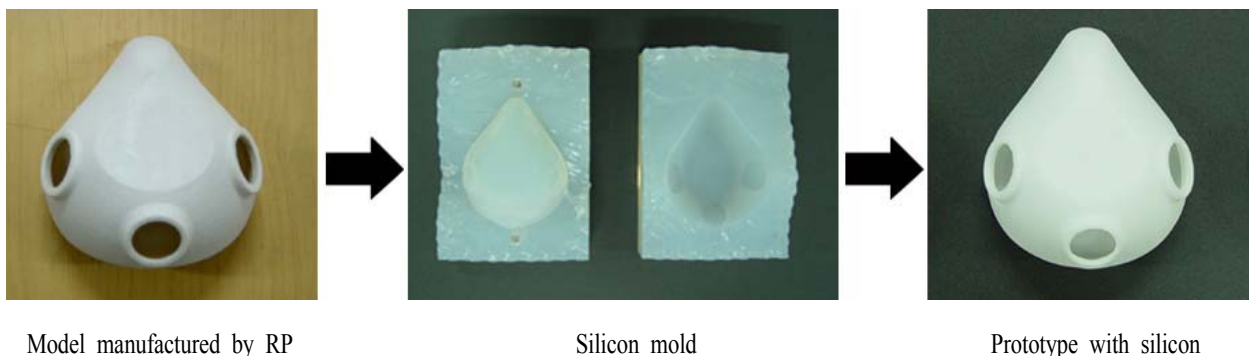


Fig 11. Process of manufacturing prototype half mask with silicone.



Fig 12. Simple naked eye test for fitting.

대표할 수 있는가의 문제일 것이다. 이 문제는 지금보다 훨씬 많은 피검자를 대상으로 한국인의 얼굴 및 두상에 대한 표준 규격을 만들면 해결할 수 있을 것이다. 또한 가지 제한점은 반면형 마스크 제작에 필요한 test panel의 구성이 입술 길이(lip length)와 얼굴 길이(face length)만 가지고 설명될 수 있는가의 문제이다. 앞서 언급한 것처럼 이 문제는 현재 많은 연구자들에 의해 연구되어지고 있으며 지금까지는 각 연구자들과 피검 대상자들 간에 많은 차이점을 보이고 있어 어떤 parameter가 가장 정확한지 결론이 나지 않은 상태이다. 따라서 현재 NIOSH에서는 3D 스캐닝과 실측치를 가지고 새로운 test panel을 구성하기 위한 연구를 제시하였다(NIOSH, 2002).

지금까지의 연구는 실리콘을 이용하여 얼굴과 접촉하는 부분만을 prototype으로 시제품을 제작한 것이다. 이렇게 개발한 반면형 마스크가 한국인의 얼굴에 적합한지에 관한 검증연구가 필요하다. 이 연구는 이미 개발한 prototype의 마스크를 근거로 실제 시판중인 마스크와 같이 흡기 및 배기 밸브를 제작하여 부착하고 시판중인 마스크와 동일한 재질을 이용하여 제품을 만드는 것이다. 이렇게 제작한 마스크는 다시 앞서 연구한 피검자들을 대상으로(혹은 이들과 거의 동일한 panel을 대상) 다시 밀착도 검사를 실시하여 수정해야 할 것이다.

IV. 결 론

Pilot study로 한국인의 얼굴에 알맞은 반면형 마스크의 시제품을 실리콘을 재질로 prototype으로 제작하였다. 이 두 얼굴 치수(lip length와 face length)를 이용하여 50명의 panel을 구성하고 이들의 얼굴을 스캔한 다음 얼굴 크기별로 대중소 3개의 표준 얼굴 및 두상 모형을 제작하였다. 이 모형을 바탕으로 3개의 실리콘 반면형 마스크 prototype을 시제품으로 제작하였다. 시제품을 얼굴모형에 맞춰 본 결과 외견상 기존의 마스크보다 훨씬 밀착정도가 좋은 것으로 판단되었다. 본 연구는 한국인에 알맞은 반면형 마스크 개발의 시금석으로 활용될 것이다.

감사의 글

본 연구를 위해 통계처리를 담당하여 주신 인제대학교 데이터정보학과 최국렬 교수께 심심한 감사를 드립니다.

REFERENCES

박은주, 김현옥. 반면형 방진마스크의 밀착계수에 영향을 미치는 요인. 한국 산업의학 1995; 133-143
한돈희, 나명채, 이상근. 호흡기보호구에 대한 Saccharin QLFT와 CNC QNFT 간 상관성에 관한 연구. 한국산업위생학회지 1997; 7(1): 99-112
한돈희. 호흡기보호구의 밀착계수와 안면

구조의 관계, 예방의학회지 1998; 31(3): 440-448
한돈희. 호흡기보호구의 밀착도 검사와 안면규격 panel의 개발. 한국산업위생학회지 1999; 9(1):1-13
한돈희, 최국렬. 한국인의 얼굴체형에 알맞은 반면형 마스크의 개발(1) - 얼굴 치수와 밀착정도의 관계, 한국산업위생학회지 2002; 12(1): 46-54
Brazile WJ, Buchan RM, Sandfort DR, Melvin W, Johnson JA, Charney M. Respirator fit and facial dimensions of two minority groups. Appl Occup Environ Hyg 1998; 13(4): 233-237
Chungang Univ., Industrial Design Institute. A study of the human measure of Korean and practical use for industrial design. The ministry of commerce, industry and energy. Seoul, 1998
HAN. Fit Factor for Quarter Masks and Facial Size Categories. Ann Occup Hyg 2000; 44(3):227-234
Hack AL, Hyatt EC, Held BJ, Moore TO, Richards CP, McConville TJ. Selection of respirator test panels representative of U.S. adult facial sizes. Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, New Mexico 87544, March 1974
Hack AL, McConville TJ. Respirator protection factors: Part I - Development an anthropometric test panel. Am Ind Hyg Assoc J 1978; 39: 970-975
Hsiao SW, Chuang JC. A reverse based

- approach for product form design. Design Studies 2003; 24: 155-171
- Hughes JG and Lomaev O. An anthropometric survey of Australian male facial sizes. Am Ind Hyg Assoc J 1972; 33(2): 71-78
- Liau YH, Amit B, Howard A, Carl M. Determination of critical anthropometric parameters for design of respirators. Am Ind Hyg Assoc J 1982; 43(12): 897-899
- McConville TJ, Milton A. Anthropometric sizing program for oral-nasal oxygen masks based on 1967 U.S. air force survey data. Aviation, Space, and Environmental Medicine November 1975:1383-1389
- NIOSH. Proposed data collections submitted for public comment and recommendation; Anthropometric survey of respirator users. NIOSH federal register notice(volume 67, number 16) 2002. Available from: URL:<http://cdc.gov/nicsh/02-1690.html>
- Oestenstad RK, Dillion HK, Perkin LL. Distribution of facial leak sites on a half-mask respirator and their association with facial dimension. Am Ind Hyg Assoc J 1990; 51(3): 285-290
- Oestenstad RK, Perkin LL. An assessment of critical anthropometric dimensions for predicting the fit of a half-mask respirator. Am Ind Hyg Assoc J 1992; 53(10): 639-644
- Rioux M. Colour 3-D electronic imaging of the surface of the human body. Optic and Lasers in Engineering 1997; 28: 119-135
- Yatapanage KG, Post K. Measurement of 3-D facial contours for the design of half-face respirators. Am Ind Hyg Assoc J 1992; 53(1): 19-26
- Yu CY, Lo YH, Chiou WK. The 3D scanner for measuring body surface area: a simplified calculation in the Chinese adult. Applied Ergonomics 2003; 34: 273-278