

가

Review on the Development of 3-Dimensional Face Recognition and Measurement for the Design of Respirators

Hyunwook Kim · Kangyoon Kim[‡]

*Department of Preventive Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea
Institute of Occupational Health, Korean Industrial Health Association, Seoul, Korea[‡]*

This article reviewed previous studies on the 3D face recognition and anthropometric facial analysis to design suitable respirators for individuals. 3D facial anthropometric data have not been reported in Korea yet. With 3D facial data, it is possible to design and to manufacture respirators having more effective respirator-face seal and thus providing more comfortable wearing than donning of those respirators designed using 1 and 2-dimensional data.

Also 3D data could be used for respirator fit-testing and selecting suitable respirator type and size by computer simulation without several steps of fit-test to each individual worker.

Key word : Face recognition, Anthropometry, Respirator, Fit-test, 3D

I.

(, 1999). 가 , (. 가 , 1992). 가 , (NIOSH, 1987). 1998 가 84.9%, 81.2% 가 20% , 80%, 가 (, 1994; , 1995; , 1999; Kim , 2000; , 2001).
: 2001 3 20 , : 2001 5 2
‡ : (가 604
Tel : 02-863-9322, Fax : 02-863-9320, E-mail : kykim91@freechal.com)

, 1987).

가

(stiffness) .

,

가

,

,

.

가
가

. Gross 가

Hostman(1990)

가 10

71-89%, 83-85%

,

.

(anthropometric (, 2001)

data) . 60-100%, 93-100% (

,

, 1996).

(Coblentz ,

1991). (1994)

가 “ ”

(, 1996).

가 “ ” 가

‘ ’,

가

가

;

;

(, 1994).

3

,

, 3

47가

(, 2000).

3

Gross Horstman(1990)

/

가

가

3

(3 - Dimensional Facial Modeling) ()

, (道)

가 (, 1999).

가 (virtual human)

, 1996).

3, 3, 가, AU(Action Unit)

3, 44, 44 AU, 1

Gordon(1989) 3, 가, 0.4 mm, AU, 가, 2, 가 80-90%, 3, 가 100%, 100%, 97%, (Application of Face Recognition), 1996).

가, Ekman Friesen(1977) FACS(Facial Action Coding System), 가,

표 1. 안면근육의 기본동작 일람(최창석, 1994)

AU ¹⁾ No.	AU Name	AU No.	AU Name
1	.	20	.
2	.	23	.
4	.	24	.
5	.	25	.
6	.	26	.
7	.	27	.
8	.	28	.
9	.	29	.
10	.	30	.
11	鼻胃濃	32	.
12	.	35	.
13	.	41	.
14	.	42	가
15	.	43	.
16	.	44	.
17	.	45	.
18	.	46	.

1) AU : Action Unit

가

표 2. 출신지역별 얼굴 각부의 특징(조용진, 1999)

	224.63	231.04	232.34	234.08
	188.30	190.10	193.65	193.90
	63.96	61.20	62.64	60.54
	60.74	63.79	64.93	66.16
	63.60	65.11	66.08	67.20
	98.47	93.71	95.33	95.81
()	31.03(37.53)	31.05(33.51)	31.33(33.85)	31.12(35.10)
	100.15	101.83	103.05	93.96

(Trichion-Gnathion) 가
(bizygomatic breadth, face width)
1:1.37, 1:1.31, 1:
1.33 가
(Nasion-Subnasale)
64.91mm
(Subnasale-Gna-
thion) , , 66.05
mm, 64.10mm, 62.83mm 가
가 , ,
141.74mm, 141.00mm, 139.27mm
가 가 (Bico-
ronale breadth)
120.66mm, 119.00mm, 117.32mm
가 (
) , , 95.50
mm, 98.39mm, 98.60mm
가 (Bigonial breadth)
117.9mm, 115.36mm,
113.12mm

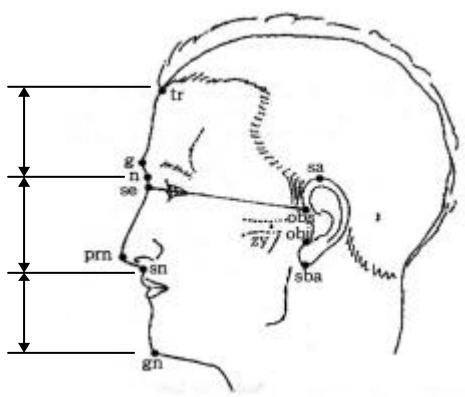


그림 1. 얼굴의 구분 및 표지점.

: Trichion(tr)-Nasion(n)
: Nasion(n)-Subnasale(sn)
: Subnasale(sn)-Gnathion(gn)

1992; , 1997; , 1999;
, 2000), 가
가 , , ,
가 가 (1999)
(2000)
가 20 가
(1999)
, ,
33.4:29.4:37.2 (1999)
32.5:33.5:34.0
가 half-facepiece mask quarter-facepiece
mask
3
가
2 가
(1998, 1999), Kim (2000)
(2001) . Kim (2000)
(face width), (lip
length), (nose width)
(nasal root breadth)
가
가
가
(1999) (1995) 178

가

(, 가 ,

(Benfer, 1975) (Abraham, 1979). 1-2 3

1
(anterior facial projection) (Gordon, 1989;
4 Marras & Kim, 1993), East-
man Kodak 1983 50-100 ,
100-150 43 가 ,
(orbit) , Marras Kim(1993) ,
가
184 ,
3 125 12 ,
가
가
2
3
가 (Kroemer, 1989).
1980
(stereometric mea-
surement) , 20
가
(Anthropometry and
Man - Machine System) 가
(, 1993). Berner(1954) Pierson(1961)
(stereophotogrammetric method)
13 Marco Polo 가 1979 (117 가 ,
Hertzberg (1957), Weissman (1967)
Weissman(1968)
가 , 46 28
1825 Blumenbach가 , KS 가 (,
Alexander von Humboldt 1849 Cosmos , 1980). 1986 (Herron, 1976), Skylab
2 (, 1986), 1992 3 (가 (Whittle, 1976,
1800 Adolphe Quetelet , 1992), 1997 4 (1979) , 가
(Kaleps, 1984).
, Von Meyer, Braune Fisher (1976) 가
1906
1912 61 Moss (1988, 1989)
(Kroemer, 1989). (1993) 63 , 16 , Schmitt
O'Brien Shelton(1941) 4 가 (1985)
10,042 59 160
Fernandez (1989) 3D videolaser, Vision 3D
23
(National Center for Health Statistics) 가
1971-1974 13,645

V. 호흡보호구의 응용 (Application to Respirator Design)

Pliny the Elder(A.D. 23-79)는 진사(辰砂, 적색 황화수은)를 정련하는 사람들이 방광막을 보호구로 사용했음을 언급하였고, 먼지나 납 흡에 노출된 근로자는 방광막을 보호구로 사용할 것을 주장한 이래(Patty, 1978), 호흡보호구는 급속한 산업화에 따른 오염물질의 증가와 살상가스를 이용한 제 1차 세계대전이 독일군에 의해 시작되면서 호흡보호구에 대한 발전도 일찍부터 이루어졌다(국방과학연구소, 1973).

우리 나라는 이태준(1956)과 계원철(1961)에 의해 한국인 조종사의 산소마스크 표준형제작 및 생체계측이 이루어진 이래 국방과학연구소(1973)의 방독면에 대한 인간공학적 연구, 민연식 등(1987, 1988)의 한국형 방진마스크 개발에 대한 연구가 이루어져 왔다. 그러나 이들은 모두 2차원적 인체측정학을 기초로 한 얼굴자료를 토대로 개발된 것이어서 호흡보호구에 대한 밀착도와 착용에 따른 압박감을 해결하는 데는 한계가 있다. 3차원 얼굴형상에 대한 자료가 제공되지 않는 한 전통적인 인체측정학적 기술로는 그 설계에 어려움이 있다(Hughes & Lomaev, 1972; Lovesey, 1974; Yatapanage & Post, 1992). Altobelli 등(1993)은 3차원 얼굴자료를 성형외과분야에 응용하였다. 그는 얼굴에 대한 2차원 인체측정자료는 형상을 얻어 수정하거나, 3차원의 복잡한 얼굴의 연조직 또는 경조직의 위치를 결정하는데 한계가 있다고 하였다.

인체측정학적 자료는 민족간, 성별, 나이의 영향에 따른 개인 상호간의 변이를 분석하는 인류학 연구에 유용하게 이용될 수 있다. 그러나 개인보호장치를 디자인 하는 데는 불충분한 자료이며, 특히 머리나 얼굴에 사용되는 장비에는 더욱 그렇다. 그 이유는 해부학적 형상과 삼차원공간과 관련된 변이에 대한 이해 때문인데, 전통적인 인체 측정학은 각 측정치가 독립적인 값으로 제공되는 것뿐이며, 거리

측정값이 필요한 공간의 위치와 둘레나 호의 형태에 대한 정보가 없어 문제점으로 지적되고 있다(Coblentz 등, 1991).

호흡보호구 제작을 위한 얼굴의 인체측정에 대해 Lovesey(1974)는 가장 기본적인 시스템으로 투영된 바둑판 무늬(projected chequerboard)나 매트릭스 슬라이드(matrix slide)를 이용한 3차원 얼굴측정을 소개하였다. 그러나 대상자에 투사기(projector)와 카메라 모두가 근접되어 있어 카메라에서 가까운 얼굴부위인 귀 부분이 더 크게 나타나고, 코처럼 멀리 떨어져진 부분은 작아 보이는 오차가 약 2.5% 발생된다고 하였다.

기술된 시스템의 대안으로 막대 매트릭스(rod matrix), 홀로그래피(holography), 입체 사진측량기(stereophotogrammetry), 정 모아레 방법(additive moiré method), 부 모아레 방법(subtractive moiré method)을 소개하였다.

막대 매트릭스(rod matrix)는 얼굴형상을 기록하는데 있어 기계적인 방법을 이용하여, 적절한 수직, 수평간격이 약 10mm인 금속판 구멍을 통해 측정하는 것으로써 매트릭스가 약 20개 이상의 구멍을 포함할 경우 자주 판독의 오차가 발생하는 문제점을 갖고 있다. 또 다른 문제는 얼굴에 막대가 접촉되면 얼굴조직이 변형될 수 있어 눈 부근을 측정하고자 할 때에는 매우 조심을 기울여야 하는 문제점이 있다.

홀로그래피는 등고선 지도를 만들지는 못하지만, 나중에 분석할 수 있는 3차원 표면을 기록한다. 그러나 이 방법은 많은 단점을 갖고 있는 방법으로 목표물의 홀로그램을 만들기 위해 필요한 1-3 J의 고전압 flash laser를 출력 에너지로 사용할 경우 눈이나 피부에 위험할 수 있고, 낮은 에너지로 장시간 노출할 경우 정확도를 확보하는데 문제가 있다고 하였다(Cobb, 1972).

입체 사진측량기(stereophotogrammetry)은 미국에서 오래전부터 성공적으로 사용되어온 3차원 인체측정 기술(Herron, 1972)로써 서로 다른 곳에서 카메라 촬영된 2개의 사진이 필요하다. 이 방법은 대

안으로 제시된 방법중 가장 정확도가 높은 방법이나 두 개의 카메라가 동시에 찍혀야하고, 장비가 특별하고 가격이 비싸다. 또한 작동하는 사람의 숙련도가 요구되는 방법이다.

모아레 광선주름이 찌푸린 상태의 얼굴선과 기준이 되는 직선사이에 생기는 방법이 모아레 방법이다. 정 모아레 방법과 부 모아레 방법은 각각 약간의 대조와 높은 대조의 서로 다른 특징을 갖고 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 투영된 바둑판무늬(projected chequerboard)나 매트릭스 슬라이드(matrix slide)와 비슷하게 오차가 발생할 수 있다.

또 더 발전된 방법으로 전신중심 렌즈 배열(telecentric lens arrangement), 착색된 격자(coloured grid)와 계량 격자선(measuring graticule)을 이용한 방법을 소개하기도 하였다.

그 외 3차원 얼굴형태자료를 얻기 위하여 석고(moulages)를 이용하기도 하였다. 이 방법은 얼굴 공간자료의 인공 보철 장치나 임플란트의 구성에 이용될 수 있으나, 시간소모가 많고, 제작과정에서 밀폐 공포증이 있는 경우에는 사용이 불가능하고, 제작된 석고는 깨지기 쉬운 성질 때문에 저장에 어려움이 있으며, 표정 등에 의해 얼굴이 찌그러질 경우 자료의 정확성에 문제가 있을 수 있다. 주로 의학분야 중 성형외과에서 주로 이용된 방법이다(Altobelli, 1994)

현재까지의 입체사진 기술은 대상자의 조정(subject alignment), 원점좌표(coordinate origin), 자료 습득(data acquisition), 조작(manipulation), 요약과 표시(summarization and display) 등 수많은 실제적인 문제점을 안고 있다. 전통적으로 보호장비를 위한 인체측정학적 설계는 두 해부학적 기준점(길이, 폭, 깊이 등) 사이의 직선적인 값, 인체 여러 부분의 둘레, 각 인체표면간의 호 길이 등이 기초적으로 사용되어져 왔다(Zehner, 1986). 이를 위한 자료수집에 필요한 얼굴형태를 얻기 위하여(얼굴인식) Zehner(1986)는 5개의 레이저를 기본으로 한 측정장비를 소개하였으며, 인체측정용 거리측정 장치로써 레이

Air Force Wright Aeronautical Laboratories(AFWAL)

가 3

REFERENCES

- (Robinette, 1993; Whitestone, 1993; Meunier, 2000).
- (1994)
- Technical 3
- Arts Corporation "White Scanner" (1999) (1995)가 3
- 가 (1995)
- (landmarks)
- National Research Council Marc Rioux 3
- 가 3
- 180 (point-to-point) 1mm
- Cyberware (white light) 가
- 360
- 가 가 가
- Oxford Metrics (脊椎側曲, scoliosis)
- Coblentz (1991) (stereophotogrammetry)
- Yatapanage Post(1992) 가 (sonic digitizer microphone)
- Piccione Moyer(1997) Cyberware 3 (fit test) (prototype)
- 1973.
- '86
- 1986.
- 1961; 9(1): 60-73
- 1999; 4: 83-87
- 1997; 2: 25-30
- , , , , ,
- , , , , ,
- , 1992.
- 3
- 2000.
- 1999.
- , , , , ,
- , , , , ,
- , , , , ,
- 1987.
- , , , , ,
- , , , , ,
- ().
- 1988.
- , , , ,
- 2000; 41: 879-885
- , .
- 1995; 34(4): 133-143
- (fit factor)
- 가
- 2001.

- . 1994; 4(2): 180-188
- . 1993; 12(1): 25-38
- . 1999; 1: 23-33
- . 2000; 2(1): 95-104
- . 1976; 2(1): 61-78
- . 1992; 4(2): 162-180
- . 1996; 23(6): 80-94
- . 1996.
- . 1956; 4(2): 80-87
- . , 1999
- . 1994; 21(10): 1-12
- . 1980.
- . 1997.
- . 1998; 31(3): 440-448
- Panel . 1999; 9(1): 1-13
- . 1992; 19: 930-935
- 3 가 . 1995; 48(4): 935-952
- Abraham S, Johnson CL, Nahhar MF. Weight and height of adults 18-74 years of age; United States. '1971-1974. National Center for Health Statistics, DHEW Publication No.(PHS) 79-1659, US Government Printing Office, Washington DC. 1979.
- Altobelli DE. Computer-Assisted Acquisition of Facial Surface Topography. in Farkas LG(Eds). *Anthropometry of the Head and Face*. 2nd ed. New York, Raven Press. pp. 219-233
- Altobelli DE, Kikinis R, Mulliken JB, Cline H, Lorensen W, Jolesz F. Computer-assisted three-dimensional planning in craniofacial surgery. *Plas Reconstr Surgery*. 1993; 92(4): 576-585
- Benfer RA. Morphometric analysis of Cartesian coordinates of the human skull. *Am J Phys Anthropol*. 1975; 42: 371-382
- Berner J. Calculation of the body surface area by photogrammetry, *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 1954; 6: 322-324
- Cobb J. A projected grid method for recording the shape of the human face. *Royal Aircraft Establishment Technical Report TR71184*. 1972
- Coblentz A, Mollard R, Ignazi G. Three-dimensional face shape analysis of French adults, and its application to design of protective equipment. *Ergonomics*, 1991; 34(4): 497-517
- Eastman Kodak Company. *Ergonomic Design for People At Work*. Volume 1. American Book Company, New York, NY. 1983
- Ekman P, Friesen WV. *Facial Action Coding System*. Consulting Psychologist Press. 1977
- Fernandez JE, Malzahn DE, Eyada OK, Kim CH. Anthropometry of Korean female industrial workers. *Ergonomics* 1989; 32(5): 491-495
- Gordon CG et al. 1988 *Anthropometric Survey of US Army Personnel: Method and Summary Statistics*, Anthropology Research Project, Inc. Technical Report. Natick/Tr-89/044, Yellow Springs, OH. 1989
- Gross SF, Horstman SW. Half-mask respirator selection for a mixed worker group. *Appl Occup Environ Hyg J* 1990; 5: 229-235
- Herron Stereophotogrammetry in biology and medicine. *XIII Congress International Society of Photogrammetry*. Ottawa 23 July-5 August. 1972
- Herron RE, Cuzzi JR, Hugg J. Mass distribution of the human body using biostereometrics 1976, (AMRL-TR-75-18, Wright Patterson Air Force Base)
- Hertzberg HTE, Dupertuis CW, Emanuel I. Stereophotogrammetry as an anthropometric tool. *Photogrammetric Engineering* 1957; 23: 942-947
- Hughes JG, Lomaev O. An anthropometric survey of Australian male facial sizes. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1972; 33(2): 71-78
- Kaleps I, Clauser CE, Young JW, Chandler RF, Zehner GF, McConville JT. Investigation into the mass distribution properties of the human body and its segments. *Ergonomics*. 1984; 27: 1225-1230
- Kim HW, Han DH, Park YG, Roh YM, Woo YJ. Anthropometric dimensions of Koreans and their associations with fit of quarter-masks respirators. Presented at 10th International Conference of ISRP 2000. Australia, Nov. 12-15, 2000.
- Kroemer KHE. Engineering anthropometry. *Ergonomics*. 1989; 32(7): 767-784
- Lovesey EJ. The development of a 3-dimensional anthropometric measuring technique. *Appl Ergonomics*. 1974; 5.1: 36-41.
- Marras WS, Kim JY. Anthropometry of industrial population. *Ergonomics*,

- 1993; 36(4): 371-378
- Moss JP, Grindrod SR, Linney AD, Arridge SR, James D. A computer system for the interactive planning and prediction of maxillofacial surgery. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988; 94: 469-475
- Moss JP, Linney AD, Grindrod SR, Mosse CA. A laser scanning system for the measurement of facial surface morphology. *Optics and Lasers in Engineering*. 1989; 10: 179-190
- Meunier P, Tack D, Ricci A, Bossi L, Angel H. Helmet accommodation analysis using 3D laser scanning. *Appl Ergo* 2000; 31: 361-369
- NIOSH. NIOSH Guide to Industrial Respiratory Protection. U.S. Dept. of Health and Human Services. Pub. No. 87-116, 1987
- O'Brien R, Shelton WC. Women's Measurements for Garment and Pattern Construction. United States Department of Agriculture, Misc. Pub. No. 454, US Government Printing Office, Washington DC. 1941
- Patty FA. Industrial Hygiene: Retrospect and Prospect. In *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, Vol. 1. 3rd ed. New York. John Wiley & Sons, 1978. pp. 1-21.
- Piccione Dm Noyer ET. Modeling the interface between a respirator and the human face. DAAL01-96-C-0077, Army Research Lab. Human Engineering and Research Directorate. 1997
- Pierson WR. Photogrammetric determination of surface area, *Photogrammetric Engineering* 1961; 27: 99-102.
- Robinette KM. Fit testing as a helmet development tool. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting*, 1993. 69-73
- Schmitt F, Maitre M, Clainchard A, Lopez-Krahe J. Acquisition and representation of subject surface data, *Biometrics '85. SPIE Proceedings*, 1985; 602: 42-49
- Weissman S, Herron RE. Stereophotogrammetry as a means of anthropometry of mentally handicapped children, *Civil Engineering Studies*, (Photogrammetry Series no. 11, University of Illinois), 1967.
- Weissman S. Anthropometric photogrammetry. *Photogrammetric Engineering* 1968; 34: 1134-1140
- Whitstone JJ. Design and evaluation of helmet systems using 3D data. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting*, 1993. 64-68
- Whittle MW, Herron RE, Cuzzi JR. Biostereometric analysis of body form: the second manned Skylab Mission. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 1976; 47(4): 410-412
- Whittle MW. Caloric and exercise requirements of space flight: Biostereometrics results from Skylab. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 1979; 50(2): 163-167
- 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
- Zehner GF. Three-dimensional summarization of face shape. *Proceedings of the Human Factors Society-30th Annual Meeting*. 1986. 206-210