

# 3차원 스캐너를 이용한 치주질환 이환자용 칫솔모의 형상설계

김현준\*, 서명원\*\*, 배종현#

## Shape Design of the Bristle for the Periodontally Involved Patients by Using 3D Scanner

Hyun Jun Kim \*, Myung Won Suh\*\* and Jong Hyun Bae#

### ABSTRACT

In this study, an investigation was made on bristles for the prosthetic and periodontally involved patients based on the previous studies. The purpose of this study was to investigate the ideal location and dimensions of bristles for the patients who were installed with fixed prostheses and severely involved periodontitis. 3D scanner was used to develop 3D visual models of bristles and teeth. These models were developed to be used for designing the ideal bristles for the prosthetic and periodontally involved patients. For the ideal design of bristle, interproximal area of dental arch and bristle must get into maximum and standard teeth may have to be chosen from many gypsum molds. During the design process the factors should be considered that influence the removal of plaque by bristle.

**Key Words** : Periodontal Disease(치주질환), Toothbrush(칫솔), Plaque(프라그), 3D scanner(3차원 스캐너), Shape Design(형상설계), Curve Fitting(적합곡선)

### 1. 서론

대체로 치아를 상실하게 되는 주 이유로 젊은 시기에는 치아 우식증(dental caries)이 제일 큰 원인이며, 중년 이후로는 치주질환(periodontal disease)이 가장 큰 원인이 된다. 치아우식증이나 치주질환의 가장 큰 원인은 구강 내(oral cavity)에 잔존하는 세균성 물질인 프라그(plaque)인데, 이를 제거하는 방법은 여러 가지가 있으나 그 중에서도 칫솔질이 가장 효과적이며 간편한 방법이다.<sup>1</sup>

이와 같이 칫솔로 프라그를 제거 할 때 영향을 미치는 인자로는 이닦기 방법(tooth brushing method), 칫솔의 형태, 모의 재질, 길이, 직경, 모속 수, 배열 등이 있다.<sup>2</sup> 이러한 요인 중 칫솔의 형태에 있어서, 종래의 칫솔은 칫솔모의 형태가 이를 닦기 위한 목적만으로 직선형으로 이루어져 있기 때문이다, 이 경우 자정 작용이 쉽게 일어나 실질적으로는 치아를 닦을 필요가 적은 치아의 풍용부(smooth surface of tooth), 즉 볼록하게 돌출된 정면(Labial or Buccal surface) 및 후면(Lingual or Palatal surface) 부위 또는 교합

접수일: 2006년 5월 22일; 게재승인일: 2006년 11월 16일

\* 성균관대학교 기계공학부 대학원

\*\* 성균관대학교 기계공학부

# 교신저자: 아이들 치과의원

E-mail aideurkt@paran.com Tel. (051) 747-1317

부(Occlusal surface), 즉 음식을 씹는데 사용되는 상면 부위의 표면이 주로 닦이도록 되어 있다. 따라서 치아와 치아 사이(interproximal area), 치아와 잇몸 사이(gingival sulcus)에 낀 음식물 및 프라그를 제거하기가 어렵다.<sup>3</sup>

또한, 이러한 칫솔로 이닦기를 할 때 모든 치아 표면이 골고루 잘 닦이는 것은 아니다. 전치(Incisor), 견치(Canine), 소구치(Premolar), 대구치(Molar) 순으로 잘 닦이며, 특히 순협측 면보다는 설구개측 면이 잘 닦이지 않고, 각 치아의 앞쪽(Mesial Surface) 보다는 뒷쪽(Distal Surface)이 닦기 어렵다. 또한 치아와 치아 사이, 치아와 잇몸 사이가 칫솔질하기 어렵고, 특히 하악 대구치(lower molar)의 설측 치간부(interproximal area of lingual surface)의 프라그를 제거하기가 가장 어렵다.<sup>4</sup>

이러한 프라그 제거용 칫솔의 설계 시 중요한 요소는 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 칫솔모의 형상을 주요 인자로 결정하였다. 형상을 결정하기 위해서는 치아 표면의 굴곡을 측정해야 하는데 치아는 사람마다 형상이 다르고 매우 복잡하기 때문에 측정이 쉽지 않다. 따라서 최근 들어 많이 사용되는 3차원 스캐너를 이용하여 복잡한 치아의 곡선을 획득하여 최적의 칫솔 모형 상을 구하고자 한다.

최근 들어, 3차원 스캐너를 이용한 연구 및 응용 기술이 개발되어져 왔다. 3차원 스캐너는 측정 대상물의 형상을 그대로 가져오기 때문에 이전에 사람의 손으로 일일이 모델링하는 시간을 상당히 줄였으며, 특히 산업계의 역 공학 분야에서 재설계, 해석 및 검사에 사용되어왔다.<sup>5</sup> 비단 산업계뿐만 아니라 용도는 다양한데 요즘은 의학 및 치의학 분야에서도 활용할 수 있는 기술이 개발되고 있다. 사람의 장기나 치아는 그 형상이 상당히 복잡하기 때문에 일반적인 모델링 외에는 개인 특유의 형상을 구현이 불가능하였다. 하지만 3차원 스캐너를 이용하면 정확한 측정 및 모델링을 수행하여 수작업으로 표현하기 힘든 형상을 정확하게 표현 할 수 있으므로 앞으로 의학 및 치의학 분야에서 많이 쓰일 것으로 기대되고 있다. 이렇게 의료 분야에서의 사용은 의사의 진단과 향후 치료에 매우 유용하며, 환자들의 데이터베이스 구축에도 상당한 도움이 될 것이다. 치과 분야에서는 몇몇 3차원 스캐너 회사들이 상용 시스템을 개발하고 있고 치과의사들의 의식만 바뀐다면 그 활용성은 무궁무진하다.

본 연구의 목적은 3차원 스캐너를 이용하여 치아를 닦을 시 프라그 제거가 가장 어려운 부분을 측정하여 3차원 모델을 생성하고, 이 모델의 단면 곡선 형상을 추출한 다음, 다양한 근사식을 이용하여 최적의 곡선을 선정하고 이를 칫솔모의 형상에 적용, 최적의 치주질환자용 칫솔을 개발하는 방법을 제시하는 것이다.

## 2. 3차원 치아 모델 생성

본 연구에서는 3차원 치아 모델을 생성하기 위해 3차원 스캐너와 3차원 모델링 소프트웨어를 이용하여 치아 모델을 생성하였다.

### 2.1 3차원 스캐너의 기본 원리

본 연구에서 사용된 3차원 스캐너는 Fig. 1과 같이 비접촉식이며, 광원은 할로겐 램프를 사용한다. 측정방식은 PMP(Phase Measuring Profilometry) 법을 이용하며, 모아레 방식의 일부이다. 기본적인 측정원리로 측정 대상을 스캐너의 적정 거리와 측정 영역 안에 위치시킨 후 스캔을 수행한다. Fig. 1에서 보이는 것처럼 스캔이 시작되면 광원에서 빛이 대상물에 맺히게 되는데 이 빛은 스캐너 내부의 광원 전면에 촘촘한 격자를 통과하게 된다. 그러면, 대상물에 모아레 무늬가 생기는데, 이는 다시 스캐너 내부에 탑재된 CCD카메라에 영상으로 입력된다. 모아레 무늬를 가진 대상물의 영상은 소프트웨어 적으로 가로 세로 일직선의 정방형의 격자와 겹치게 되어 위상천이를 계산하여 격자의 각도를 구할 수 있다. 그러면, 3차원 데이터인 수많은 x, y, z 의 좌표로 구성된 포인트들을 생성하게 된다.<sup>6</sup>

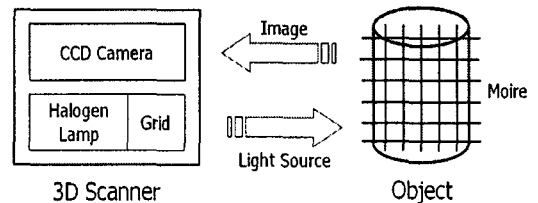


Fig. 1 Basic principle of 3D scanner

### 2.2 측정 대상

본 연구의 측정대상은 하악 대구치의 설측 부위

(lingual surface of lower molar)인데, Fig. 2는 사람의 구강을 나타낸 것이다. 윗부분을 상악(maxillar), 아래 부분을 하악(mandible)이라 하는데 하악 대구치군(mandibular molar)의 안쪽 즉, 설측면(lingual surface) 중에서 치간부 즉 치아와 치아 사이에 생기는 프라그를 제거하기가 가장 어렵기 때문에 측정대상으로 삼았다. 측정대상은 Fig. 3과 같이 20대 남성의 치아(dental arch)석고 모형(gypsum model)을 선정하였다.

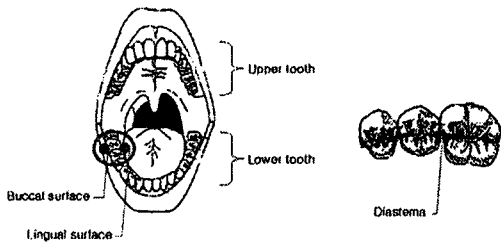
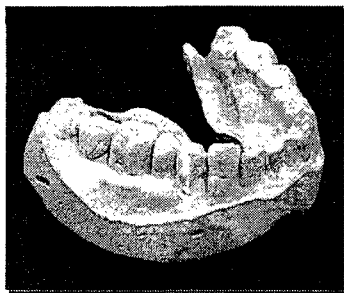
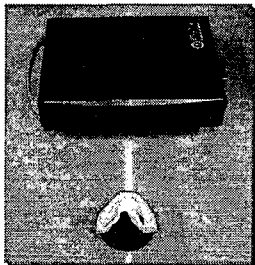


Fig. 2 Part of molar in mouth



(a)



(b)

Fig. 3 Plaster cast of teeth, (a), 3D scanner, (b)

### 2.3 3차원 측정

구성된 시스템과 선정된 대상 치아의 석고모형을 이용하여, 본 연구의 대상인 하악 대구치부의

설측면을 측정한다. 대략적인 스캔 과정은 Fig. 4와 같다. Fig. 4(a)는 대상을 측정하기 전의 CCD 카메라 영상이다. 스캐너 운영 툴을 이용하여 측정을 하면, Fig. 4(b)와 같이 측정 상태가 색으로 표현되는데, 초록색(①)이 측정이 가장 잘된 영역이고 다음이 파란색(②), 빨간색(③) 순으로 표시된다. Fig. 4(c)는 대상에 격자 무늬를 통과한 광원이 맺혀 생성된 모아레 무늬이다. 앞서 설명한 모아레 무늬를 확인 할 수 있다. Fig. 4(d)는 3차원 스캐너 운영 툴에서 생성된 최초의 3차원 모델이다. 본 연구에서 사용된 3차원 스캐너의 제원은 Table 1과 같다.

### 2.4 3차원 모델 생성

치아 3차원 모델 생성 과정은 Fig. 5와 같다. 3차원 스캐너로 측정물을 스캔하고 스캔이미지 처리 및 데이터를 생성한다.<sup>7</sup> 여기서 생성되는 데이터는 측정물의 3차원 포인트 좌표이다. 이 스캔 데이터는 CATIA v5<sup>8</sup>에서 편집과정을 거쳐 3차원 치아 모델을 생성하게 된다. Fig. 6은 생성된 포인트 데이터를 CATIA v5에서 편집하는 과정이다. Fig. 6(a)

Table 1 3D Scanner Spec

EXIMA-E100	
Scanning Area(mm)	100×75×70
Scanning Time	Fast Mode(0.7sec)/Precision Mode(1.8sec) High Precision Mode(3.5sec)
Optimal Scanning Distance	800mm
Maximum Number of Data Points	300,000points
Operating Temperature	15℃ -30℃
Scanning Method	MOIRE &PMP Method
Product Size	295mm×210mm×78mm
Product Weight	2.6kg
Camera Resolution	640×480pixels
Power	AC110 - 240V , 50Hz / 60Hz
Light Source	Laser Class II Type
PC/OS	Pentium IV 1GHz, 512MB Ram &higher, Windows2000 / NT

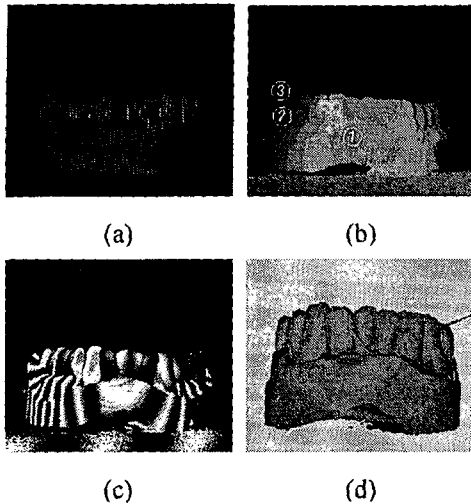


Fig. 4 Scan process, (a) CCD camera image, (b) color image of scan area, (c) moire image, (d) 3D image

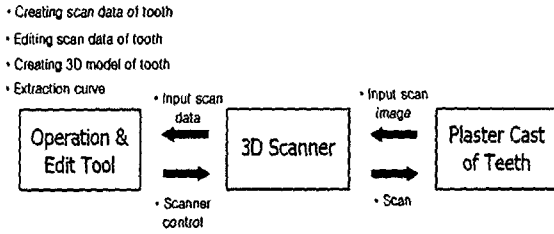


Fig. 5 Process of creating teeth model

는 포인트 데이터를 CATIA v5에 импорт 한 것이고, Fig. 6(b)는 이 포인트들을 샘플링하고 노이즈를 제거하는 과정이다. Fig. 6(c)는 이것을 폴리곤화 하고 빈 공간을 메우는 과정을 거쳐, Fig. 6(d)와 같이 3차원모델을 생성하게 된다.

### 3. 기존 칫솔 분석

치주질환자(patient of periodontal disease)용 칫솔을 설계하기 위해서는 선정한 기준치아의 치열궁에 적합한 칫솔의 식모형상을 3차원으로 가시화해야 하는데 이에 앞서 현재 시판되고 있는 기존 칫솔들에 대한 분석이 필요하다. 칫솔 설계 목적이 기존의 칫솔로는 닦기 어려운 부분에 대한 칫솔 모형상이므로, 설계 전에 기존 칫솔들이

왜 부적합한지에 대한 분석이 있어야 한다. 이러한 분석이 있는 후에 확인된 문제점들을 설계할

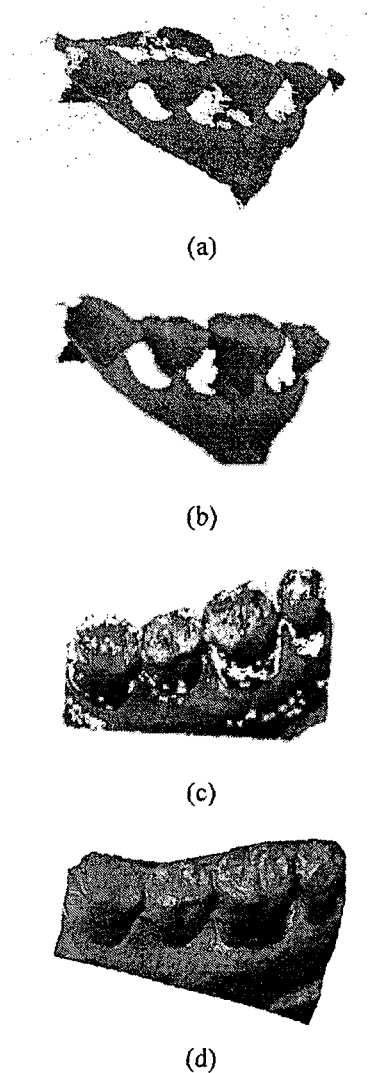


Fig. 6 Modeling process of teeth in CATIA v5. (a) import of scan, (b) removing noise and sampling scan, (c) fill-hole process, (d) final teeth model

칫솔에 설계 인자로 적용한다. 현재 시판되고 있는 칫솔 중 무작위로 국산 및 외산 칫솔들을 선정하여 칫솔 전장, 식모부 전장, 목부 길이, 목부 폭 등에 대한 데이터를 획득한다. 이렇게 획득된 데이터를 비교, 분석하여 가장 안 닦이는 부분인 하악 대구치부의 설측에 직접 적용하여 문제점들을 파악하고 치주환자용 칫솔 설계 시 추가적인 요소들을 파악하여 좀 더 정확한 식모위치 및 형상을 알고자 한다.

### 3.1 제원 측정 및 문제점 파악

현재 시판되고 있는 칫솔 중 국산 8종류, 미국산 6종류 그리고 일본산 4종류를 선정하여 칫솔 전장, 식모부 전장, 식모부 폭, 식모부 길이, 굴곡부 길이, 굴곡부 폭 등을 측정하였다. 측정된 데이터는 Table 2, 3, 4에 나타내었다. 여기서 L1은 칫솔 전장, L2는 식모부 전장, W1은 식모부 폭, L3는 식모부 길이, L4는 목부까지의 길이 그리고 W2는 목부 폭이다.

국산 및 미국산은 식모부 전장이 길어 구강 내의 운동에 제한이 있고, 목부 폭이 두꺼워 앞니에 걸려 설측 어금니 부위를 효과적으로 닦지 못하였다. 일본산은 모든 제원이 대체로 짧고 특히 목부 폭이 얇아 대구치 부위를 닦는 데는 제한이 없지만 목부 길이가 너무 짧아 안쪽으로는 운동에 제한이 있었다. 따라서, 칫솔전장과 목부 길이는 국산 및 미국산이, 식모부 폭 및 목부 폭은 일본산이 칫솔질에 효과적임을 알 수 있었다.

### 3.2 기존 칫솔의 3차원 가시화

확인된 문제점을 기존 칫솔 모델링을 통하여 3차원으로 가시화하였다. Fig. 7은 기존 칫솔의 칫솔모 형상과 목부 폭에 대한 문제점을 가시화 한 것이다. 기존 칫솔모의 형상은 치간 부위의 이닦이(tooth brushing)에는 효과적이지 못함을 알 수 있다. 마찬가지로 목부 폭이 두꺼우면 전치(anterior tooth)에 걸려 안쪽의 대구치부(molar area)까지 접근하는데 제한이 있음을 알 수 있다.

Table 2 Specification of toothbrush made in Korea

Products	L1	L2	W1	L3	L4	W2
Trowaway	183	24	8.5	17	66	4.6
Doctoredoc1	181	26.8	10.5	16.8	59	5.2
Doctoredoc2	193	29.7	13.3	16.8	60	4.8
Atman	193	30.7	13.8	16.7	69.2	5.4
Oxy Dental	192.5	34.6	13.5	15.7	69.6	6-8.8
Median	196	34	12.3	17.5	56	5.1
Crio	185	30.6	11.8	16	64.8	6-8.5
Dental 2080	189	29.4	12.6	17.6	70	5.7-10
<b>Average</b>	<b>189.06</b>	<b>30.00</b>	<b>12.04</b>	<b>16.76</b>	<b>64.32</b>	<b>5.95</b>

## 4. 치아 단면에 대한 적합곡선 생성

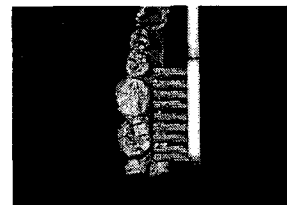
3차원 스캐너와 CATIA를 이용하여 치아 단면에 대해 추출된 곡선은 실제 치아의 형상과 정확히 일치한다. 이 곡선의 형상대로 칫솔모의 형상을 설계하는 것이 이 연구의 목적에 가장 부합되나, 만약 원래의 형상으로 칫솔 모를 설계를 한다면 치아의 형상이 너무 복잡하기 때문에 설계시나 가공 시에 상당히 힘든 작업임에 틀림없다. 따라서 이러한 형상을 근사화하여 가공 가능한 적합곡선을 생성

Table 3 Specification of toothbrush made in US

Products	L1	L2	W1	L3	L4	W2
Butler409	160	27.4	11.3	17.8	43.2	6.7
Butler430	190	28.5	8.2	17	57	6
Oral-B	184	31.5	14	17	70.5	7-9
Oral-B	197	31.7	13.2	16	63.4	6-11
Colgate	161	28	7.4	16	48	5.2
Colgate	195	27.7	15	15	45	5.5
<b>Average</b>	<b>181.17</b>	<b>29.13</b>	<b>11.52</b>	<b>16.47</b>	<b>54.52</b>	<b>6.65</b>

Table 4 Specification of toothbrush made in Japan

Products	L1	L2	W1	L3	L4	W2
V-7	177	26	7.2	15.5	28	3
Dr.Denti	185	28	11	16	34.5	5.8
Dent.EX.	165	20	6	14.2	60	4.7
Throwaway	162	25.5	9.5	15	60	5
<b>Average</b>	<b>172.25</b>	<b>24.87</b>	<b>8.42</b>	<b>15.17</b>	<b>45.62</b>	<b>4.62</b>



(a) Front view



(b) Side view

Fig. 7 3D Visualization toothbrush in market on teeth

해야 한다. 앞서 언급했듯이 칫솔모의 형상 결정은 가장 안 닳아는 부분인 대구치의 설측 부위로 정한 것이며, 다른 부분은 이렇게 결정된 형상으로 닳을 때, 치간 내의 이물질 제거가 어렵지 않기 때문이다.

#### 4.1 치아 단면 곡선 추출

선정한 하악 대구치 설측 부위에 대한 곡선을 추출하기 위해서 CATIA를 이용하였다. 보통 치아 단면 곡선의 경우, 일반적인 기계부품과 같이 직선형이 아니라, 복잡한 곡선으로 이루어져 있기 때문에 3차원 스캐너를 이용하여 치아의 형상을 획득하고 이를 CATIA에서 치아 3차원 모델을 생성한 후 하악 대구치 설측 부위의 단면에 대한 곡선을 추출하였다.

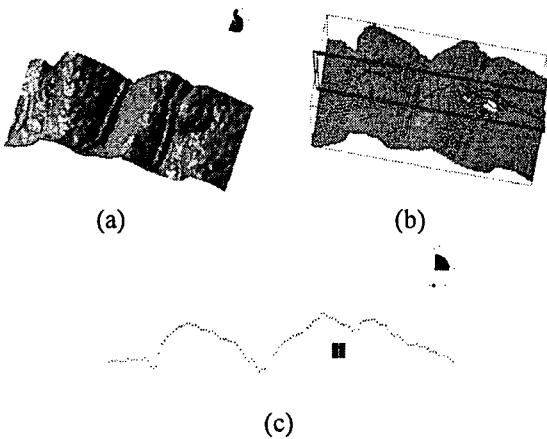


Fig. 8 Process of curve extraction. (a) Selection of part of tooth model, (b) Selection curve, (c) Curve extraction

Table 5 Evaluation of Curve Fittings

Curve Fitting	Goodness of Fit			
	SSE	R-square	Adj. R-square	RMSE
Polynomial	4.986	0.909	0.902	0.209
Exponential	36.090	0.343	0.327	0.548
Fourier	15.450	0.664	0.624	0.410
Gaussian	12.670	0.769	0.716	0.356
Rational	3.757	0.932	0.926	0.182
Sum of Sine	2.859	0.948	0.938	0.167

생성된 하악 대구치 설측 부위의 모델에서 곡선 추출을 위해 필요한 부분을 선택한 부분 모델이 Fig. 8(a)이다. 여기서 Fig. 8(b)와 같이 단면의 포인트들을 선택하면 Fig. 8(c)와 같이 X-Z 좌표 값을 갖는 2차 곡선이 추출된다.

#### 4.2 적합곡선 생성 및 검증

추출된 곡선에 대해 적합곡선을 생성하고 그 곡선에 대한 검증을 수행하였다. 다음의 근사식들을 이용하여 적합곡선을 생성하였는데, 사용한 근사식으로는 지수함수, 푸리에 급수, 싸인함, 가우시안, 다항식 그리고 유리식이다. 그리고 적합곡선의 검증은 오차 제곱합(SSE)과 제곱근 평균 제곱 오차(RMSE)를 이용하여 오차를 측정하였고 R-square와 adjusted R-square를 이용하여 적합도를 검증하였다.

Table 5에서 보듯이 지수함수, 푸리에 급수, 가우시안을 이용한 적합곡선은 오차도 심하고 적합도도 상당히 떨어지는 것을 알 수 있다. 다항식과 유리식, 싸인함을 이용한 적합곡선이 오차가 적고 적합도도 높았는데, 최적의 적합곡선으로 칫솔모의 형상에는 싸인함 7의 적합곡선을 사용하였다. Fig. 9는 싸인함을 이용한 적합곡선이다.

### 5. 칫솔 형상 설계

추출된 치아 단면 곡선에 대한 적합곡선을 생성하여, 이를 칫솔모 형상을 결정하는데 적용하였다 Fig. 10의 (a)는 적합곡선을 이용하여 설계된 칫솔모의

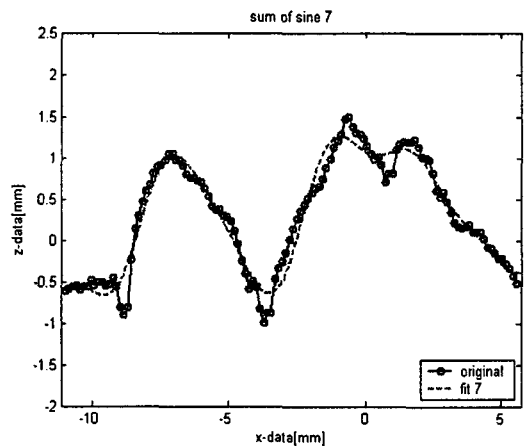


Fig. 9 Curve Fitting using sum of sine

의 형상이다. Fig. 10의 (b)는 기존 칫솔 분석에 의해 선정된 목부폭을 적용한 칫솔의 형상이다.

이렇게 설계된 칫솔을 3차원 치아 모델에 적용하였다. Fig. 10의 (c)에서 알 수 있듯이 설계된 칫솔모가 치아와 치아 사이에 효과적임을 알 수 있다. 그리고 Fig. 10의 (d)에서도 목부폭이 작아 하악 대구치 설측 부위를 닦는데 아무 문제가 없음을 알 수 있다. Fig. 11은 최종 완성된 칫솔의 형상이다.

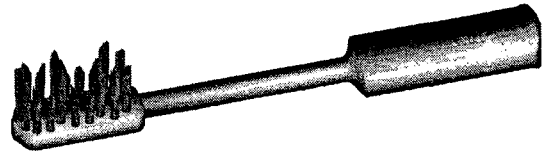


Fig. 11 Entire-view of toothbrush

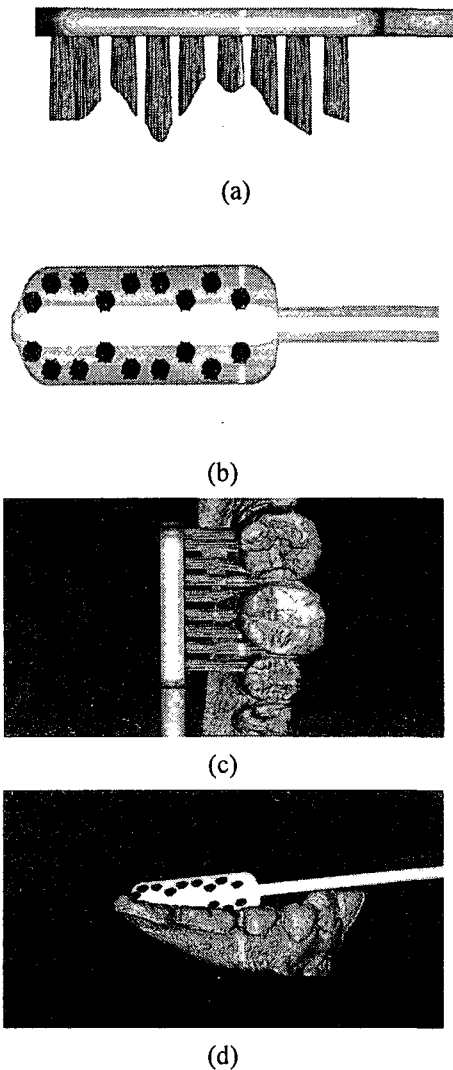


Fig. 10 Design of bristle using selected curve, (a) Design of toothbrush's neck, (b) Effectiveness of bristle shape, (c) Effectiveness of toothbrush neck, (d)

## 6. 결 론

본 연구에서는 치주질환자용 칫솔을 개발함에 있어서 기존 칫솔들을 분석하여 가장 안 닦이는 부분인 하악 대구치 설측 부위에 적용하고 문제점들을 파악하였다.

3차원 스캐너로 하악 대구치 설측 부위를 측정하여 3차원 모델을 생성하였다. 모델의 단면 곡선을 추출하여 다양한 적합곡선 방법을 적용하여 차후 가공을 고려한 최적의 곡선을 선정하였다.

1. 치주질환의 가장 큰 원인인 플라그 제거를 해결하기 위해서는 치간 내의 잔존 이물질들을 효과적으로 제거해야 하지만 기존의 시판 칫솔들을 분석한 결과, 칫솔대의 구조와 칫솔모의 형상이 이담이가 가장 어려운 부분인 하악 대구치부의 설측에는 적합하지 않는 것을 파악하였다.

2. 임의로 선정된 치아 석고 모형은 형상이 매우 복잡하기 때문에 일반적인 모델링으로는 표현하기 어렵다. 따라서 3차원 스캐너 및 운영 툴을 이용하여 치아를 측정하고 측정된 데이터를 필 홀 및 노이즈 제거를 사용하여 3차원 모델을 생성하였다.

3. 생성된 모델의 단면 곡선을 추출하여 여기서 획득된 3차원 데이터를 이용하여 푸리에 급수, 가우시안, 다항식, 싸인함 그리고 보간법 등의 근사식으로 추출된 곡선에 대한 적합곡선을 생성하였다.

4. 기존 칫솔의 문제 요소들을 파악하여 칫솔 목부 폭과 식모부 폭을 결정하였으며, 3차원 스캐너로 측정되어 모델링 된 치아 석고 모형에 적용하여 3차원으로 가시화하였다.

5. 선정된 적합곡선을 이용하여 칫솔모의 형상을 설계하여 모델링 하였다. 이렇게 설계된 칫솔 모에

앞서 결정된 목부 폭과 식모부 폭을 적용하여 치주 질환자 용 칫솔을 설계하였다.

이러한 연구 결과를 이용하여 칫솔을 개발한다면, 그 동안 기존 칫솔로는 닦기 어려웠던 하악 대구치부 설측 치간부예의 접근성이 용이하게 되어, 이 부위에 생기는 프라그를 효과적으로 제거할 수 있어 치주질환을 예방하는데 큰 도움이 될 것이다.

3차원 스캐너를 이용하여 정확한 치아 정보를 얻을 수 있으므로 개인마다 형상이 다른 치열에 맞는 개인 칫솔 모 형상을 갖는 칫솔을 제작할 수 있다.

향후 연구과제로 실제로 제작된 칫솔을 이용하여 접촉 해석 결과와 실제 치과에서의 임상실험 결과를 비교하여 상기 칫솔의 효과를 검증한다면 치주질환 예방 개인 칫솔 제작 시스템을 개발할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10938-0)와 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수연구실 지원사업의 연구결과입니다.

## 참고문헌

1. Kanchanakamol, U. and Srisilapanan, P., "The effectiveness of the newly designed Concept 45' toothbrush for removal of dental plaque in primary schoolchildren," International Dental Journal, Vol. 42, pp. 78-82, 1992.
2. Shory, N.L., Mitchell, G.E. and Jamison, H.C., "A study of the effectiveness of two types of tooth brushes for removal of oral accumulation," The Journal of the American Dental Association, Vol. 115, pp. 717-720, 1987.
3. Gripson, J. A. and Wade, A. B. "Plaque removal by the bass and roll brushing technique," J. Periodontol, Vol. 48, No. 9, pp. 456-459, 1997.
4. Bergen holt, A., Gustafsson, L. B., Segerlund, N., Hagberg, C. and Ostby, N., "Role of brushing technique and tooth brush design in plaque removal," Scand. J. Dent. Res., Vol. 92, No. 4, pp. 344-351, 1994.
5. Lee, J. B., "A Study on The Configuration of The Bristle for The Prosthetic and Periodontally involved Patient," The Journal of Korean academy of prosthodontics, Vol. 36, No. 6, pp. 867-877, 1988.
6. Lee, J. h., Paik, K. S., Chang, M. S. and Lee, S. p., "An Evaluation of Validity of Measurements using Digital Caliper and Three-dimensional Virtual Dental Models," Korean Association of Anatomists, Vol. 37, No. 2, pp. 209-218, 2004.
7. Suh, M. J., Suh, H. C., Lee, J. B., Suh, M. W. and Choi, H. G., "Shape design of the bristle for the prosthetic and periodontally involved patients by using 3D scanner," Korea Society for Precision Engineering 2003 Fall Annual Meeting, pp. 72-75, 2003.
8. CATIA Ver.5, DASSAULT SYSTEMS.