

# 로봇을 이용한 치과 보철용 아치와이어 제작을 위한 굽힘각 계산 방법

정 성 업<sup>1)</sup> · 송 일 재<sup>2)</sup> · 황 면 중<sup>1)\*</sup>

국립한국교통대학교 기계공학과<sup>1)</sup> · 원텍오토메이션<sup>2)</sup>

## A Method to Compute Bending Angle for Robotic Shaping of Orthodontic Archwire

Seong Youb Chung<sup>1)</sup> · Il Jae Song<sup>2)</sup> · Myun Joong Hwang<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, 27469, Korea

<sup>2)</sup>Wintech Automation, 71 Youngtong-ro 200, Suwon-si, Gyeonggi, 16690, Korea

(Received 2017.10.31 / Accepted 2017.11.17)

**Abstract** : Orthodontic treatment is accomplished by attaching an archwire to a bracket on tooth. The shape of the archwire is usually planned from 3-D scanned data of patient's teeth. It is manufactured by bending a metal wire and there have been some researches in progress to automate it. In this paper, we propose a method to obtain the bending angle at the bending point from the shape data of the archwire and verify it by simulation using actual archwire data.

**Key words** : archwire, wire bending, oral orthodontic, robot, automation

### 1. 서 론

일반적인 치열 교정에서는 환자의 치아 내외부를 치열교정용 3차원 스캐너로 스캐닝하여 획득한 3차원 영상으로부터 치아에 부착되는 치열교정용 브래킷의 위치에 대응하여 체결되는 아치와이어의 형상을 결정한다. 이러한 아치와이어의 제작은 치과의사나 치기 공사에 의해 수작업으로 수행되며 직선 형태의 원재료 와이어를 3차원 영상을 확인하면서 굽히는 작업이다. 하지만, 수작업으로 진행되는 과정이기 때문에 정밀한 제작이 불가하고 정밀도를 높이기 위해 여러 번의 수정 작업을 거치게 되는 단점이 있다. 또한 치열 교정을 시작한 후에는 대략 7~8회의 아치와이어 교체를 통해 점진적인 교정을 시행하는데, 교체 시마다 여전히 수작업 반복 과정을 거쳐야 하는 불편함이 있다.

이러한 수작업에 따른 문제점들을 해결하기 위해 로봇을 이용한 아치와이어 제작에 대한 연구가 수행

되고 있다. 아치와이어를 굽히는 방식에 따라 평면 형태의 로봇을 제안한 연구<sup>1)</sup>, 직교 메커니즘을 이용한 굽힘 자동화에 대한 연구<sup>2)</sup>, 2개의 회전 구동부를 이용한 굽힘 자동화에 대한 연구<sup>3)</sup> 등이 대표적으로 제작을 위한 전용 로봇 메커니즘을 제안하였다는 공통점이 있다. 하지만 굽힘 방법에 따라 로봇 메커니즘이 달라져야 하고, 제작 비용이 적지 않은 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 Orametrix<sup>4)</sup>, Orthorobot<sup>5)</sup> 등의 세계적인 치과 의료기기 기업에서는 오래전부터 Fig. 1과 같은 다양한 회전 동작이 가능한 수직다관절 로봇을 이용한 자동 제작 시스템을 상용화하고 있다. 전용 로봇이 아닌 범용 로봇을 적용함으로써 신뢰성을 높이고 굽힘 방법에 구애받지 않은 정확한 아치와이어 제작이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 수직다관절로봇에 아치와이어 제작을 적용하기 위해서는 3차원 스캔 데이터로부터 아치와이어 상의 각 굽힘 위치로부터 굽힘 각도를 계산하는 과정이 필요하다.

본 논문에서는 치과 교정용 스캔 소프트웨어 등을

\*Corresponding author, E-mail: mjhwang@ut.ac.kr



Fig. 1 Robot systems in Orametrix<sup>4)</sup> (Left) and Orthorobot<sup>5)</sup> (Right)

통해 얻어진 아치와이어의 STL 파일이 주어진 경우 아치와이어의 굽힘점들의 좌표로부터 굽힘 각도를 계산하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 굽힘 각도 산출 방법에 대한 이론적인 설명을 하고 3장에서는 실제 아치와이어 데이터들을 이용한 산출 과정 시뮬레이션 결과를 보인다. 이후 4장에서는 본 연구에 대한 결론과 향후 연구에 대해 기술한다.

## 2. 아치와이어 굽힘 각도 산출

아치와이어는 Fig. 2와 같이 치열 교정을 위한 두께 0.5mm 안팎의 얇은 금속 재료의 와이어로써 사람 손의 힘에 의해 쉽게 구부러지는 특징이 있다. 아치와이어의 형상은 각 환자의 치아상태와 구강 구조에 따라 다르기 때문에 치과용 3차원 스캐너를 이용한 영상을 활용하여 Fig. 3과 같은 상용 소프트웨어를 이용하여 그 형상을 결정하게 된다. 따라서, 이 과정을 통해 미리 형상을 확인할 수 있고 그에 대한 정확한 수치적인 점 데이터들을 전자 파일 형태로 저장할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 데이터들이 STL(Stereolithography)<sup>6)</sup> 형태로 저장되

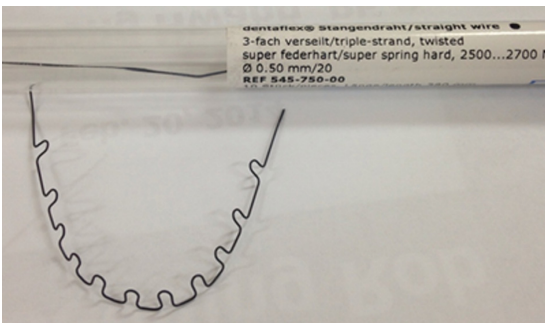


Fig. 2 Orthodontic archwire

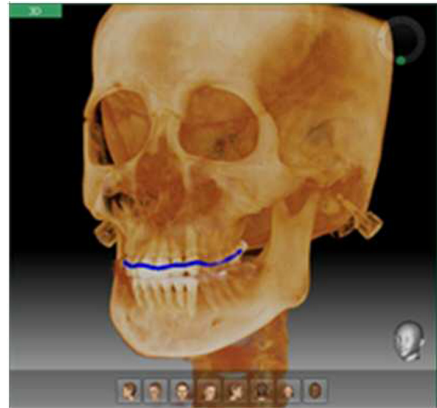


Fig. 3 Archwire model from scanned data

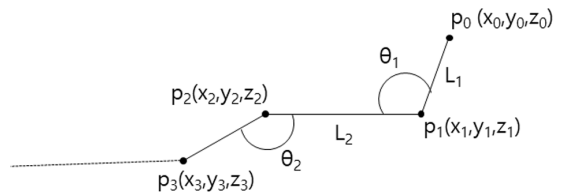


Fig. 4 Bending points in archwire

어 있다고 가정한다. STL 데이터는 해당 모델의 표면을 구성하는 삼각형들의 집합을 저장하고 각 삼각형의 꼭지점 3개의 좌표들과 해당 삼각형의 평면에 수직한 방향을 의미하는 단위벡터 정보를 가지고 있다.

이 아치와이어를 로봇을 이용하여 제작하는 경우 굽힘의 기준점의 정확한 3차원 위치와 각 기준면에 대한 굽힘 각도를 계산해야 한다. Fig. 4 은 단순화된 아치와이어 상의 n개의 굽힘점들을 각각  $P_0, P_1, \dots, P_n$  이라 하고, 그 3차원 좌표를 나타낸 그림이다. 이 때, 이웃한 두 굽힘점  $P_i$ 와  $P_{i+1}$  사이의 직선거리  $L_i$  는 식(1)과 같다. 이 때, 굽힘점  $P_i$ 에서의 굽힘 각도를  $\theta_i$ 라 하면,  $\theta_i$ 는 직선  $L_i$ 와  $L_{i+1}$  사이의 각도임을 알 수 있다. 이 각도는 코사인 제2법칙에 의해 유도할 수 있으며 그 결과는 식(2)와 같다.

$$L_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2} \quad (1)$$

$$\theta_i = \cos^{-1} \left( \frac{L_i^2 + L_{i+1}^2 - |P_{i+1} - P_{i-1}|^2}{2L_i L_{i+1}} \right) \quad (2)$$

첫 번째 굽힘점에서의 굽힘 각도가 계산되면, 식(1)

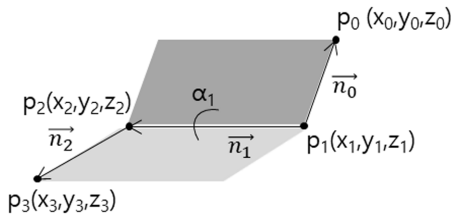


Fig. 5 Two plane in three bending points

과 (2)를 연속하여 적용함으로써 모든 굽힘점에 대한 굽힘 각도들을 계산 가능하다. 하지만, 이 각도들은 아치와이어의 형상이 3차원이라면 모두 같은 평면상에 존재하지는 않는다. 따라서, 정확한 회전각을 표현하기 위해서는 평면의 회전을 의미하는 추가적인 각도 계산이 필요하다.

Fig. 5는 연속된 두 개의 굽힘점을 기준으로 해당 굽힘점들이 포함된 두 개의 평면을 나타낸 그림이다. 3차원 상에 굽힘이 일어나는 경우 추가적인 회전 각  $\alpha_i$ 가 필요하다는 것을 알 수 있다.  $\alpha_i$ 는 굽힘점  $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}$ 로 이루어진 평면과  $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ 로 이루어진 연속한 평면 사이의 각도로 Fig. 5에 표시된 방향 벡터들의 연산으로부터 구할 수 있다.

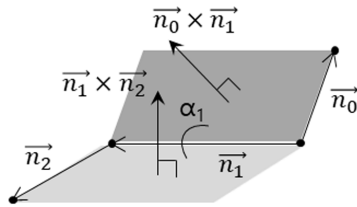


Fig. 6 Bending angle between two planes

Fig. 6을 예로 들어 설명하면, 첫 번째 평면을 구성하는 벡터  $\vec{n}_0$ 와  $\vec{n}_1$ 의 외적으로부터 평면에 수직인 방향 벡터를 구할 수 있는 같은 방법으로 두 번째 평면의  $\vec{n}_1$ 과  $\vec{n}_2$ 의 외적으로 방향 벡터를 구할 수 있다. 이 두 방향 벡터 사이의 각도를  $\beta_1$ 이라 하면, 평면 사이의 각도  $\alpha_1$ 은 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_1 = 180 - \beta_1 \quad (3)$$

### 3. 시뮬레이션

2장에서 제안한 굽힘 각도 계산 방법 검증을 위해

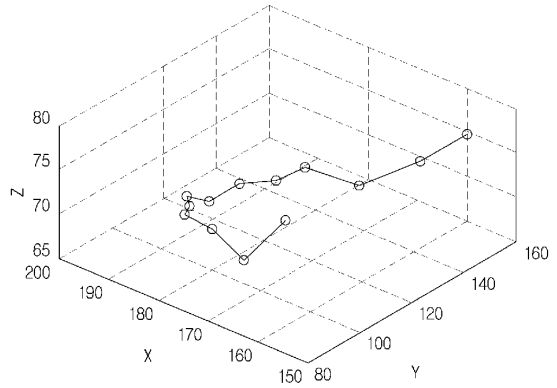


Fig. 7 Example archwire

실제 3차원 스캔데이터를 기반으로 만들어진 Fig. 7과 같은 아치와이어를 예시로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 7의 아치와이어는 굽힘점이 11개로써 양 끝점을 포함한 총 13개의 점이 그림 상에 원으로 표기되어 있다. 이 점들의 3차원 좌표는 Table 1과 같다. 이 굽힘점들의 좌표로부터 각 굽힘 점에서의 회전 각도  $\theta_i$ 를 연속적으로 구한 결과는 Table 2와 같다.

굽힘 각도를 구한 결과를 보면 총 13개의 점들 중 아치와이어의 양 끝점을 제외한 11개의 점이 굽힘점이 되어 11개의 각도가 산출된 것을 알 수 있다. 대부분 140~180° 사이의 값으로 둔각인 것을 알 수 있고, Fig. 7의 주어진 형상을 볼 때 그 결과가 적절함을 알 수 있다.

Table 1 Positions of bending points in archwire (mm)

	X	Y	Z
P <sub>0</sub>	89.0945	159.0814	77.1647
P <sub>1</sub>	93.0922	169.7093	69.6588
P <sub>2</sub>	97.8743	178.5914	70.3412
P <sub>3</sub>	100.9737	185.0701	70.6824
P <sub>4</sub>	106.6039	188.9349	67.9529
P <sub>5</sub>	113.4610	192.0026	67.9529
P <sub>6</sub>	122.6298	192.5148	65.9059
P <sub>7</sub>	129.2343	189.7652	67.2706
P <sub>8</sub>	134.1218	185.1627	67.9529
P <sub>9</sub>	139.2600	181.9208	69.3177
P <sub>10</sub>	141.3730	171.9415	69.3177
P <sub>11</sub>	146.0755	162.2176	73.4118
P <sub>12</sub>	147.4083	153.3270	78.1882

Table 2 Bending angles at bending points in archwire

	angle (degree)
$\theta_1$	141.9638
$\theta_2$	177.0401
$\theta_3$	141.8069
$\theta_4$	155.9834
$\theta_5$	155.7545
$\theta_6$	145.3267
$\theta_7$	158.9483
$\theta_8$	167.1397
$\theta_9$	132.8644
$\theta_{10}$	155.2141
$\theta_{11}$	162.7037

#### 4. 결론

본 논문에서는 로봇 등의 자동화 장비를 이용한 치과 보철용 아치와이어 제작을 위해 굽힘 각도를 계산하는 방법을 제안하였다. 치과 스캔 데이터 등으로부터 아치와이어의 형상이 결정되었을 때 굽힘점들의 3차원 좌표로부터 굽힘 각도를 계산하였고, 실제 예제 아치와이어 데이터를 이용하여 시뮬레이션 함으로써 그 결과가 적절함을 확인하였다.

본 논문에서는 굽힘 각도가 계산 가능함을 보였으나, 3차원 상에서의 정확한 회전을 표현하기 위한 추가적인 평면 사이의 회전각 계산에 대한 검증이 필요하다. 현재는 이에 대한 검증이 진행 중이며 이후에는 로봇 기준좌표계를 기준으로 한 회전각 산출 등에 대한 추가 연구가 필요하다.

#### Acknowledgement

2017년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

#### References

- 1) A. Gilbert, "An In-Office Wire-Bending Robot for Lingual Orthodontics", *Journal of Clinical Orthodontics*, p.230-234, April 2011.
- 2) J. Jang, Y. Zhang, M. Jin, and C. Wei., "Bending Process Analysis and Structure Design of Orthodontic Archwire Bending Robot", *International Journal of Smart Home*, 7(5), p. 345-352, 2013.
- 3) W. Zhang, "Research of 3D Virtual Design and Automated Bending of Oral Orthodontic Archwire", *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 5(8) p. 741-749, 2013.
- 4) (Online) <http://www.suresmile.com>
- 5) (Online) <http://www.orthorobot.com>
- 6) (Online) <http://www.3dsystems.com/quickparts/learn/quickcenter/what-is-stl-file>