creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

**저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.**

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 설측 고정식 유지장치의 정확도 및 안정성

연세대학교 대학원
치 의 학 과
강 승 현

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 설측 고정식 유지장치의 정확도 및 안정성

지도교수 이 기 준

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2021년 12월 일

연세대학교 대학원
치 의 학 과
강 승 현

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# 강승현의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 이 기 준 _____ 인

심사위원 _____ 차 정 열 _____ 인

심사위원 _____ 정 주 령 _____ 인

연세대학교 대학원

2021년 12월 일

# 감사의 글

이 논문이 완성되기까지 모든 과정에서 저에게 아낌없는 도움을 주시고 올바른 길로 이끌어 주신 이기준 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 이 논문을 위해 함께 고민해주시고, 세심한 지도와 조언을 해 주신 차정열 교수님, 정주령 교수님께도 정말 감사드립니다. 제가 연세대학교 교정과학교실에서 수련 받고 교정학을 공부할 수 있도록 기회를 주신 황충주 교수님, 김경호 교수님, 유형석 교수님, 최윤정 교수님, 최성환 교수님, 박선형 교수님께도 감사드립니다. 아울러 실험을 기획하고 진행하는데 있어 많은 도움을 주신 치과생체재료공학교실의 권재성 교수님께도 감사하다는 말씀을 드립니다.

저와 함께 수련 받고 있는 소중한 동기들인 김아현, 박소연, 배준형, 송승철 선생과 모든 의국 선후배님들, 그리고 김하나, 유재훈 선생님 및 치과생체재료공학교실의 고혜빈, 서경진, 한아름 선생님에게도 이 자리를 빌려 감사하다는 말씀을 드립니다.

마지막으로 언제나 저를 뒷받침 해주시고 응원해주시는 사랑하는 부모님과 동생에게 고마운 마음을 전합니다.

2021 년 12 월

저자 씀

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# 차 례

그림 차례 ····· ii
표 차례 ····· iii
국문 요약 ····· iv
Ⅰ. 서론 ····· 1
Ⅱ. 연구 대상 및 방법 ····· 5
1. 연구대상 ····· 6
2. 연구방법 ····· 6
가. 유지장치 디자인 ····· 6
나. 유지장치 제작 ····· 7
다. 계측 ····· 9
라. 신뢰도 검증 ····· 13
마. 통계분석방법 ····· 13
Ⅲ. 결과 ····· 15
1. 정확도 비교 ····· 15
가. 인접면 와이어 clearance ····· 15
나. 초기 편평도 변형 ····· 17
2. 안정성 비교 ····· 20
Ⅳ. 고찰 ····· 21
Ⅴ. 결론 ····· 28
참고문헌 ····· 29
영문요약 ····· 32

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# 그림 차례

Figure 1. Flowchart of study design ····· 6

Figure 2. Design of lingual fixed retainer ····· 7

Figure 3. Fabrication of custom-bent type lingual fixed retainer ····· 8

Figure 4. Measurement of wire clearance at interproximal area (WCI) ·····10

Figure 5. Measurement of flatness deformation ·····11

Figure 6. Thermal cyclic tester ·····12

Figure 7. Measurement of lateral width (LW) and anteroposterior length (AP) using profile projector ·····13

Figure 8. Comparison of wire clearance at interproximal area (WCI) in maxilla and mandible respectively ·····17

Figure 9. Comparison of initial flatness deformation in maxilla and mandible respectively ·····19

Figure 10. Superimposition of three types of retainers simultaneously·····23

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# 표 차례

Table 1. Comparison of wire clearance at interproximal area (WCI) in 3 retainer groups ····· 16

Table 2. Comparison of wire clearance at interproximal area (WCI) in maxilla and mandible respectively ····· 16

Table 3. Comparison of initial flatness deformation in 3 retainer groups ····· 18

Table 4. Comparison of initial flatness deformation in maxilla and mandible respectively ····· 19

Table 5. Comparison of ΔLW, ΔAP, ΔFD in 3 retainer groups ····· 20

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

국문 요약

# 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 설측 고정식 유지장치의 정확도 및 안정성

연세대학교 대학원 치의학과
**강 승 현**
( 지도 교수 : 이 기 준 )

현대 교정에서 치료 후 영구적 유지를 위한 설측 고정식 유지장치의 사용이 보편화되었고, 디지털 기술 발전에 힘입어 새로운 종류의 설측 고정식 유지장치가 지속적으로 개발되고 있다. 이들의 정확도 및 안정성은 임상적으로 중요함에도 불구하고 비교, 평가하기 위한 증거기반 데이터는 충분하지 않다. 본 연구의 목적은 두 종류의 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 설측 고정식 유지장치 및 수기로 제작된 설측 고정식 유지장치의 정확도와 안정성을 비교하는 것이다.

2021년 3월 이후 연세대학교 치과대학병원 교정과에서 장치 제거 예정인 환자의 석고 모형 복제본 20개(상, 하악 각 10개)를 연구대상으로 하였다. 치과용 서베이어를 이용하여 유지장치의 디자인을 설정한 후 석고 모형 상에 3개의 작은 홈을 형성하여 기준 평면을 정의하였다. 설측 고정식 유지장치의 범위는 견치에서 반대측 견치까지 지정하였으며 제작 방식에 따라 custom-cut 군, custom-bent 군, 수기 제작 군

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

으로 구분하였다. 정확도 평가를 위해 인접면 와이어 clearance (wire clearance at interproximal area, WCI), 초기 편평도 변형을 T0 (유지장치 제작 직후)에서 계측하였다. 안정성 평가를 위해 유지장치의 측방 너비, 전후방 길이, 편평도 변형을 세 시점 T0, T1 (1개월, 열순환 처리 850회), T2 (6개월, 열순환 처리 5100회)에서 측정한 후 시간에 따른 계측치들의 변화량의 절댓값을 산출하였다. 6개월간의 시간 흐름을 유도하기 위하여 열순환 처리를 사용하였다.

1. WCI를 기준으로 상악에서는 custom-cut 군 및 수기 제작 군이 custom-bent 군보다 높은 정확도를 보여주었으나($p$ = 0.003), 하악에서는 군 간 유의한 차이가 없었다($p < 0.001$).
2. 초기 편평도 변형을 기준으로 상, 하악 모두에서 custom-cut 군, custom-bent 군, 수기 제작 군 순으로 높은 정확도를 보였다($p < 0.001$).
3. 6개월 범위(열순환 처리 5100회)에서 세 군 간 안정성의 유의한 차이는 없었다.

상기 결론을 토대로 안정성에는 유지장치 간 차이가 없으므로 정확도를 고려 시 CNC cutting 방식의 유지장치를 사용하는 것이 추천된다. 하지만 정확도와 안정성이 유지장치 선택 시 고려해야 할 유일한 요소는 아니며, 각 유지장치별로 장단점이 존재하므로 임상적 환경을 고려하여 유지장치 제작 방법을 선택해야 할 것으로 생각된다.

---

**핵심이 되는 말: 설측 고정식 유지장치, CNC cutting, CNC bending, 열순환 처리**

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 설측 고정식 유지장치의 정확도 및 안정성

연세대학교 대학원 치의학과
**강 승 현**
( 지도 교수 : 이 기 준 )

## Ⅰ. 서론

교정 치료 종료 후 치아는 본래의 위치로 되돌아가려는 경향을 보이며(Littlewood et al., 2017), Sadowsky와 Sakols는 20년간의 장기 추적관찰 결과 96명의 환자 중 약 72%에서 재발 경향을 보였다고 보고하였다(Sadowsky and Sakols, 1982). 따라서 대부분의 환자들은 치료 후 교합의 안정화를 위해 고정식 혹은 가철식 유지장치를 사용한다(Knaup et al., 2019). 이 중 설측 고정식 유지장치는 심미적이고 환자의 협조도를 요구하지 않으며 연조직 불편감이나 발음 문제를 일으키지 않는다는 점에서 가철식 유지장치보다 더 선호된다(Nagani et al., 2020). 순측 교정장치의 경우 prescription이 부여된 preadjusted appliance가 개발됨으로써 스트레이트 와이어(straight wire)의 사용이 가능해졌으나, 치아의 설면은 순면에 비하여 형태가 다양하고 곡률이 크며 해부학적 변이가 많기 때문에 스트레이트 와이어의 사용이 불가능하

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

다(Kim et al., 2016). 그러므로 종래의 설측 고정식 유지장치 제작을 위해서는 치아의 개별 형태에 적합하도록 직접적인 와이어 bending이 필수적이었으며, Zachrisson이 1982년 도입한 여러가닥 와이어(multistranded wire) 유지장치는 그동안 최적 표준(gold standard)으로 여겨져 왔다(Gelin et al., 2020).

그러나 수기 제작 방식의 전통적인 설측 고정식 유지장치는 제작에 많은 시간을 필요로 하므로 이를 극복하기 위해 디지털 기술을 도입한 결과 새로운 종류의 설측 고정식 유지장치가 개발되었다(Kartal et al., 2021). 디지털 기술 및 3차원 스캔 모형을 이용한 와이어 제작은 컴퓨터 수치 제어(computer numerical control, CNC)에 기반하며 교정용 와이어의 제작에는 CNC 공작기계로서 절삭 기계(cutting machine) 및 bending 기계(bending machine)가 사용되고 있다. 절삭 기계를 이용한 예로는 Memotain (CA-Digital, Hilden, Germany)이 있으며, 이는 니켈-티타늄 금속판을 깎아서 만든 0.014×0.014 inch의 설측 고정식 유지장치이다(Kartal and Kaya, 2019; Kravitz et al., 2017). Bending 기계를 이용한 예로는 Suresmile (Dentsply Sirona, York, USA), Incognito (3M-Unitek, Monrovia, USA) 등이 있으며 로봇이 와이어를 bending하여 개인맞춤형 호선을 제작한다(Lee and Vaid, 2015; Park, 2014).

비교적 최근에는 설측 고정식 유지장치 제작용 bending 기계가 개발되었다. 선행연구에 따르면 절삭 기계를 이용해 제작한 유지장치는 위치 정확도가 높고 물성이 우수하지만(Kravitz et al., 2017), 별도의 주문 제작 의뢰를 필요로 하고 추가적인 비용이 들며, 제작에 수 일에서 일주일 정도의 시간이 소요된다는 단점이 있다(Shim et al., 2021). 반면 설측 고정식 유지장치 제작용 bending 기계는 상대적으로 가격이 낮아 진료실 구비에 대한 접근성이 좋고, 내원 당일 유지장치를 제작하는 것이 가능

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

하므로 환자의 내원 횟수가 감소한다는 장점이 있다.

한편 설측 고정식 유지장치의 정확도 및 안정성은 임상적으로 중요한 문제이다. 유지장치의 정확도가 낮을 경우 이상적인 위치에 수동적(passive)으로 접착하기 어려워져 불필요한 힘에 의해 원치 않는 치아 이동이 발생할 수 있고(Shaughnessy et al., 2016), 유지장치와 치아 사이의 공간이 증가하여 환자 불편감 및 교합 간섭의 발생 가능성이 높아진다(Möhlhenrich et al., 2018). 유지장치의 안정성과 관련하여 Aycan 등은 여러가닥 와이어의 단점으로 와이어 변형에 의한 치아 배열 이상, 치아 사이의 공간 형성을 지적하였으며(Aycan and Goymen, 2019), Shaughnessy 등은 여러가닥 와이어가 절단될 때 내부 응력에 의하여 말단 부위의 풀림 현상이 나타나고 그로 인해 토크 부조화가 발생할 수 있다고 하였다(Shaughnessy et al., 2016). Samson 등은 고정식 유지장치 와이어가 가져야 할 조건으로 크기 안정성(dimensional stability)을 언급하였다(Samson et al., 2018).

그동안 디지털 기술을 이용하여 제작된 설측 고정식 유지장치와 관련하여 많은 연구들이 진행되어왔다. Hu 등은 CAD/CAM을 이용해 제작한 유지장치가 전통적인 유지장치보다 제작 시간이 적게 소요되어 효율적이며, 개개인 및 치아의 형태적 차이에 영향을 받지 않아 더 안정적이라고 하였다(Hu et al., 2019). 또한 Kravitz 등은 CAD/CAM 기술을 이용해 제작한 유지장치가 전통적인 유지장치에 비해 정확도, 교합 간섭의 방지, 부식 저항성 측면에서 더 우수하다고 보고하였다(Kravitz et al., 2017). 결과적으로 디지털 방식으로 제작된 설측 고정식 유지장치는 기존의 노동 의존적이고 표준화되지 않았던 수기 제작 설측 고정식 유지장치를 빠르게 대체하고 있으며 그 우수성 또한 여러 연구에서 입증되고 있다.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

하지만 선행 연구 중 유지장치의 정확도에 대하여 정량적으로 평가한 연구가 거의 없으며, 정량적 측정을 수행한 Wolf 등의 연구는 대조군 설정이 없다는 한계를 지닌다(Wolf et al., 2015). 마찬가지로 실험실 연구에 기반하여 시간 경과에 따른 유지장치의 크기 안정성을 평가한 연구가 진행되지 않은 상황이며, 기존의 연구들은 최근에 새롭게 도입된 CNC bending 방식의 설측 고정식 유지장치를 연구 대상에 포함시키지 않았다. 이에 본 연구는 두 종류의 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 설측 고정식 유지장치(CNC cutting과 CNC bending) 및 수기로 제작된 설측 고정식 유지장치의 정확도와 안정성을 비교하고 임상적 활용에 대해 고찰해보고자 한다. 본 연구의 귀무가설은 서로 다른 방법으로 제작된 유지장치들의 정확도 및 안정성에는 유의한 차이가 없다는 것이다.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# Ⅱ. 연구 대상 및 방법

## 1. 연구대상

2021년 3월 이후 연세대학교 치과대학병원 교정과에서 장치 제거(debonding) 예정인 환자의 석고 모형 복제본 20개(상, 하악 각 10개)를 연구대상으로 하였다. 전치부에 결손치, 보철물, 기형치(peg lateralis 등), 치아 사이 공간이 있는 경우, 그리고 석고 모형 인접면 부위의 형태가 불량한 경우는 연구 대상에서 제외하였다. 설측 고정식 유지장치의 범위는 견치에서 반대측 견치까지 지정하였으며 제작 방식에 따라 custom-cut 군(CNC cutting), custom-bent 군(CNC bending), 수기 제작 군(대조군)으로 구분하였다. 전체적인 실험 도식을 다음과 같이 나타내었다(Figure 1).

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

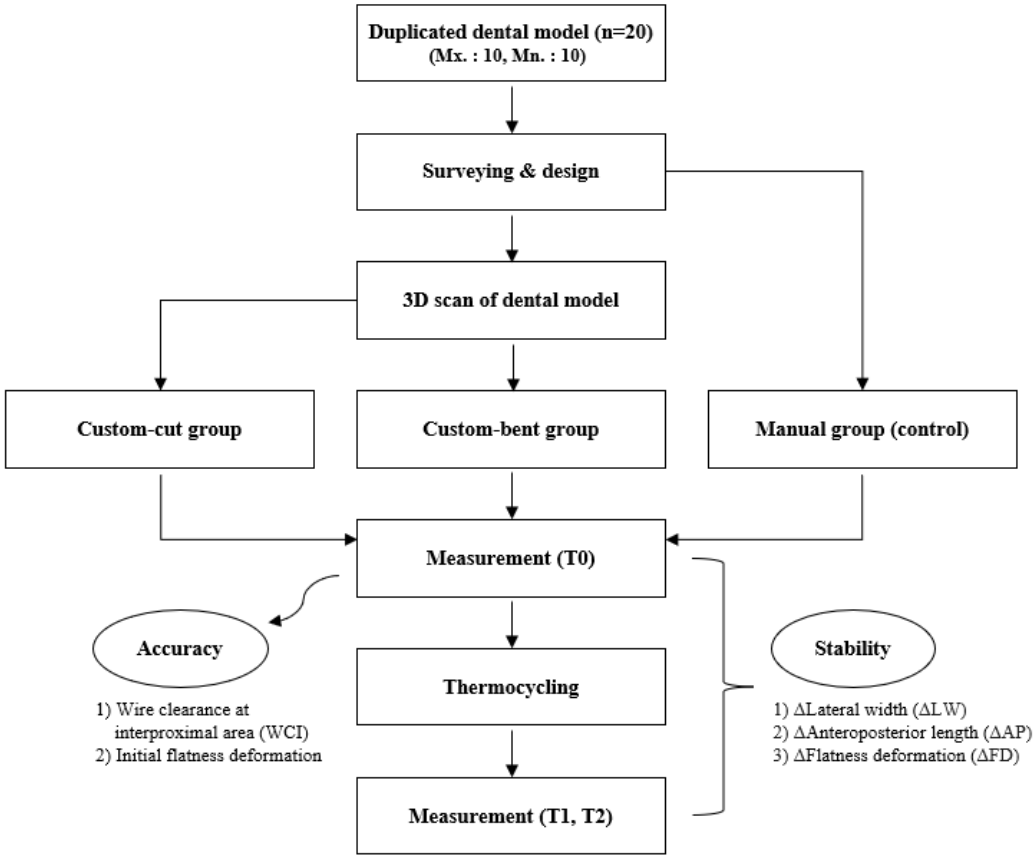


**Figure 1.** Flowchart of study design.

## 2. 연구방법

### 가. 유지장치 디자인

복제된 석고 모형에 치과용 서베이어(dental surveyor)를 이용하여 한 평면상에서 견치로부터 반대측 견치까지 디자인하였다. 그 다음 round bur를 이용하여 상악의 경우 디자인상에서 양측 견치의 원심측 및 상악 우측 중절치의 중앙 부위에 각각 1개의

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

작은 홈을 형성하였고, 하악의 경우 양측 견치의 원심측 및 하악 좌측 중절치의 중앙 부위에 각각 1개의 작은 홈을 형성하였다(Figure 2).

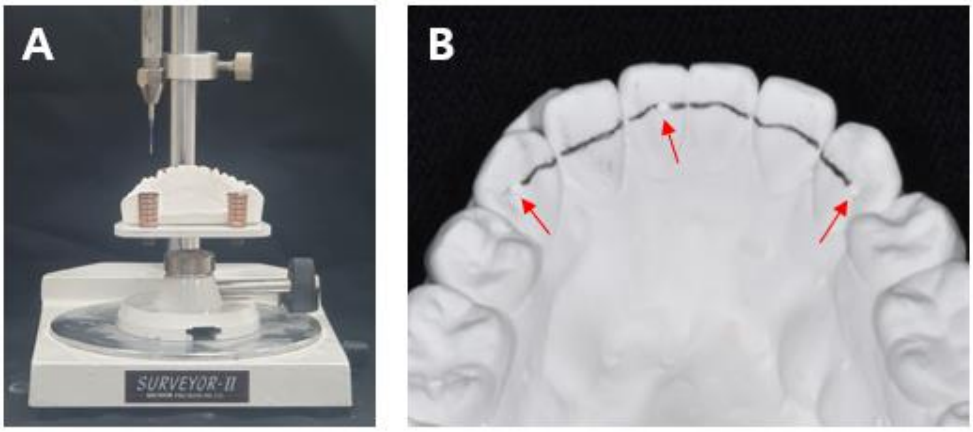


**Figure 2.** Design of lingual fixed retainer: **A**, design on one plane using dental surveyor; **B**, after formation of small dimples (arrows) on two canines and one central incisor using round bur.

## 나. 유지장치 제작

### (1) Custom-cut 군

석고 모형을 스캔하고 STL (stereolithography) 파일을 추출하여 약 0.35 mm 두께의 티타늄 합금으로 이루어진 Titainer (Lingualign Corp, Pohang, Korea) 제작을 의뢰하였다. 석고 모형의 한 평면상에 위치한 3개의 홈을 통과하되 해당 홈 내부를 지나지 않고 우회하도록 제작을 의뢰하였으며, 제작이 완료된 유지장치를 양측 견치에 형성된 홈의 근심측에서 절단하였다.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

(2) Custom-bent 군

스캔 모형 및 CAD software인 FixR (YOAT Corp., Lynnwood, USA)을 이용하여 석고 모형의 한 평면상에 위치한 3개의 홈을 통과하되 해당 홈 내부를 지나지 않고 우회하도록 디자인하였다. 이후 CAM software인 Bender1 (YOAT Corp., Lynnwood, USA)을 통해 유지장치를 제작하였다(Figure 3). 제작에 사용된 와이어는 0.5 mm 두께의 세 가닥 스테인리스강 와이어인 Dentaflex (Dentaurum GmbH & Co., Ispringen, Germany)이다. 제작이 완료된 유지장치를 양측 견치에 형성된 홈의 근심측에서 절단하였다.

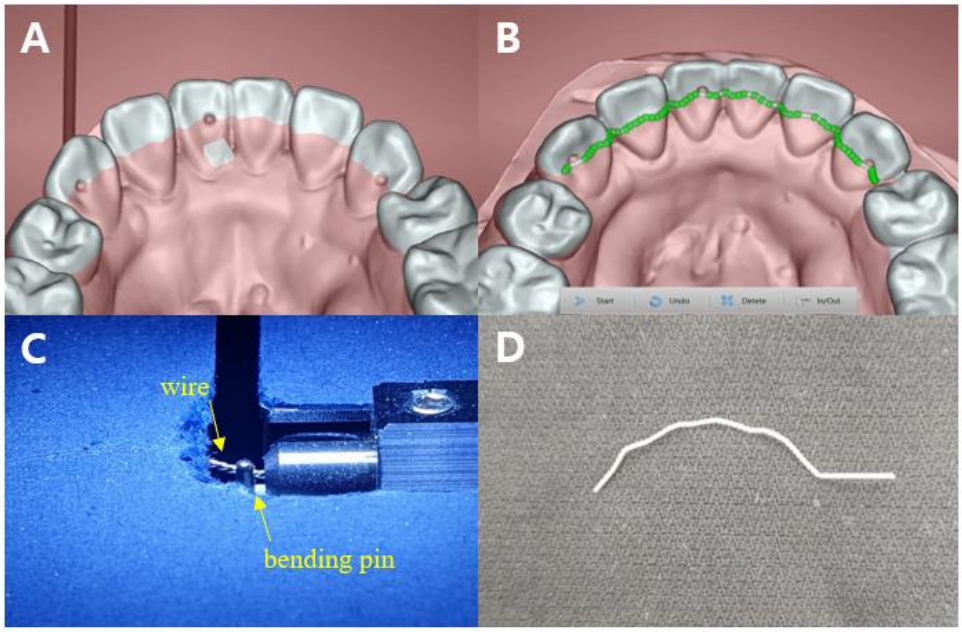


**Figure 3.** Fabrication of custom-bent type lingual fixed retainer: **A,** plane setting based on small dimples of dental cast; **B,** design of retainer on reference plane (bypassed small dimples); **C,** bending process of wire; **D,** final product.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

### (3) 수기 제작 군

Custom-bent 군과 동일한 Dentaflex를 사용하였으며 치과용 서베이어를 통해 디자인한 선을 따라 한 명의 교정의사가 와이어 bending하여 제작하였다. 다른 종류의 유지장치와 마찬가지로 석고 모형에 형성된 홈을 우회하였으며, 제작이 완료된 유지장치를 양측 견치에 형성된 홈의 근심측에서 절단하였다.

## 다. 계측

### (1) 정확도

① 인접면 와이어 clearance (wire clearance at interproximal area, WCI)

Geomagic Control X (3D systems, Rock Hill, USA) software를 이용하여 초기 스캔 모형에서 석고 모형에 형성된 홈을 통해 기준 평면을 설정하였다. 또한 견치에서 반대측 견치까지 총 5개의 인접면을 설정하고 기준 평면과 인접면의 교선 중 치면 위의 점을 선택하여 이를 계측의 기준점으로 하였다. 제작된 유지장치에 스캔 스프레이를 도포한 후 왁스를 이용하여 석고 모형에 고정하고 스캔하였다. 그 다음 기준 평면이 설정된 초기 스캔 모형과 유지장치가 고정된 스캔 모형을 최적중첩법으로 3차원 중첩하였다. 기준점으로부터 유지장치의 가장 구개측 또는 설측 경계까지의 거리를 측정한 후 5개 인접면에서의 계측치 평균값을 산출하였다(Figure 4). 이 평균값에서 유지장치의 평균 두께(custom-cut 군의 경우 0.35 mm, custom-bent 및 수기 제작 군의 경우 0.5 mm)를 뺀 값을 WCI라 정의하고 이 값이 작을수록 유지장치의 정확도가 높다고 판정하였다.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

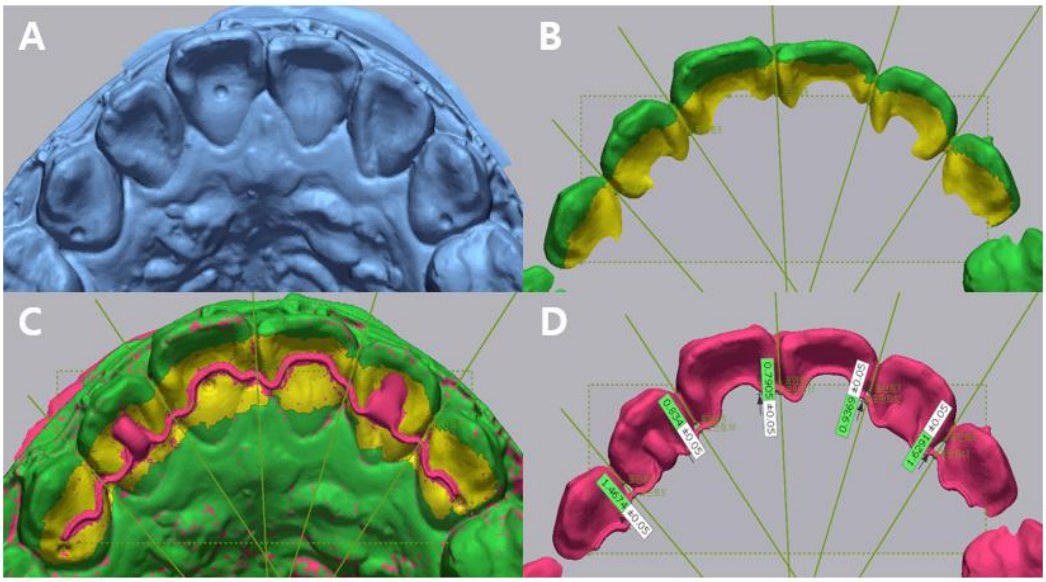


**Figure 4.** Measurement of wire clearance at interproximal area (WCI): **A,** initial scan model; **B,** setting of reference plane (dotted line), five interproximal surfaces (solid line), five reference points: Yellow area indicates the part excluded when superimposing. **C,** after 3D superimposition between initial scan model and the model with a retainer attached; **D,** length measurement between two points in five interproximal areas.

② 초기 편평도 변형(initial flatness deformation)

유지장치를 슬라이드 글라스에 왁스로 고정한 후 슬라이드 글라스로부터 유지장치까지 가장 멀리 떨어진 수직 거리를 편평도 변형(flatness deformation, FD)으로 정의하였다. 이때 여러가닥 와이어의 경우 와이어의 가장 볼록한 지점을 기준으로 하였다. Image analyzer (Hyrox Korea Co, Anyang, Korea)를 이용해 70배 확대 후 Image partner 4.0 (Saramsoft Co., Anyang, Korea) software상에서 거리를 측정하였다(Figure 5). 초기 편평도 변형은 T0 (유지장치 제작 직후)에서 측정된 편평도 변형으로 이 값이 작을수록 유지장치의 정확도가 높다고 판정하였다.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

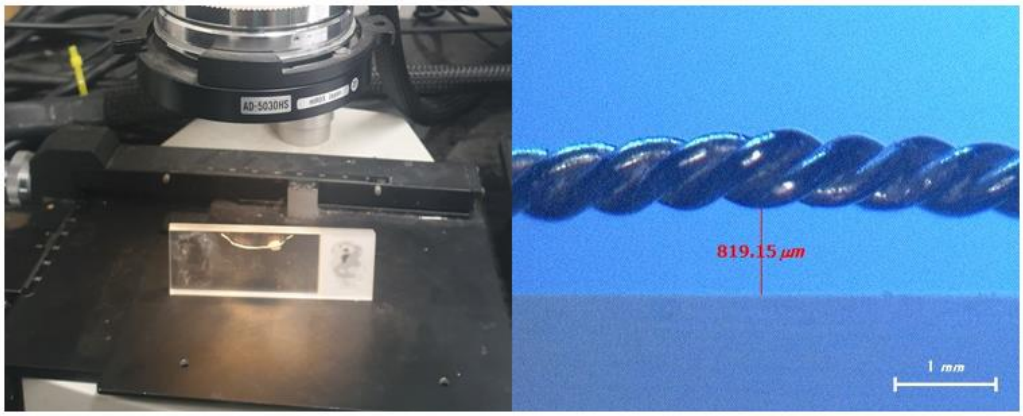


**Figure 5.** Measurement of flatness deformation (70x magnification).

### (2) 안정성

유지장치의 3차원적 크기 안정성 평가를 위해 아래와 같이 정의된 측방 너비(lateral width, LW), 전후방 길이(anteroposterior length, AP), 그리고 정확도 계측에 사용된 편평도 변형을 세 시점 T0, T1 (1개월, 열순환 처리 850회), T2 (6개월, 열순환처리 5100회)에서 측정한 후 시간에 따른 이 계측치들의 변화량의 절댓값(⊿LW, ⊿AP, ⊿FD)이 작을수록 유지장치의 안정성이 높다고 판정하였다. 본 연구에서는 제작된 유지장치들에 대해 구강 내 온도 조건(37℃)에서 6개월간의 시간 흐름을 유도하기 위하여 열순환 처리(thermocycling)를 이용하였다(Figure 6). 유지장치 표본을 생리식염수에 담근 후 냉수조, 온수조의 온도를 각각 5℃, 55℃로 설정하였다. 유지장치가 각 수조에 체류하는 시간을 45초, 수조 간 이동 시간을 5초로 설정하였으며(Lee et al., 2020), 열순환 처리 10,000회가 대략적으로 37℃ 구강 내 조건 1년에

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

상응한다고 알려져 있으므로(Gumus et al., 2018) 850회, 5100회를 각각 1개월, 6개월에 해당하는 값으로 판단하였다.

**Figure 6.** Thermal cyclic tester (R&B Inc., Daejeon, Korea).

① 측방 너비(LW)

유지장치를 평면상에 위치시킨 후 유지장치의 양측 말단 중심 간 거리를 LW로 정의하였다. 계측을 위해 측정 투영기(Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 사용하였다(Figure 7).

② 전후방 길이(AP)

유지장치를 평면상에 위치시킨 후 유지장치의 양측 말단 중심을 잇는 직선으로부터 유지장치의 내측 경계까지 가장 멀리 떨어진 전후방적 거리를 AP로 정의하였다. 계측을 위해 측정 투영기를 사용하였다(Figure 7).

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

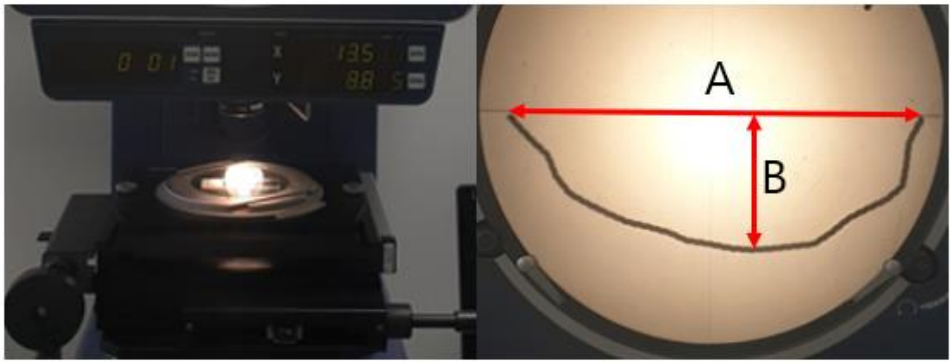


**Figure 7.** Measurement of lateral width (LW) and anteroposterior length (AP) using profile projector: **A,** lateral width; **B,** anteroposterior length.

### 라. 신뢰도 검증

한 명의 연구자가 1차 측정을 마친 후, 1주일 뒤에 전체 표본 중 무작위로 30%를 선정하여 2차 측정을 시행하였다. 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)는 모든 계측치들에 대해 0.88 이상의 값을 보였다.

### 마. 통계분석방법

SPSS software version 25.0 (IBM Corp., Armonk, USA)을 이용하여 통계 분석을 시행하였다. 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk test를 사용하였다. 유지장치의 종류에 따라 WCI 및 초기 편평도 변형의 차이가 있는지 확인하기 위해 one-way analysis of variance (ANOVA)를 시행하였고 사후검정으로 Tukey's test를 사용하였다. 같은 계측치에 대하여 상, 하악 각각에서 유지장치 간 계측치 차이가 있는지 파악하기 위해 one-way ANOVA 및 Kruskal-Wallis test를 시행하였다. 추가적으로

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

유지장치의 종류와 상, 하악 여부 간의 교호작용을 보기 위하여 two-way ANOVA를 시행하였다. 유지장치의 종류에 따라 ⊿LW, ⊿AP, ⊿FD 값의 차이가 있는지 확인하기 위해서 Kruskal-Wallis test를 시행하였다. 유의 확률이 0.05 이하인 경우 통계적으로 유의한 차이가 있다고 판정하였다.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# Ⅲ. 결과

## 1. 정확도 비교

### 가. 인접면 와이어 clearance (WCI)

전체 유지장치를 대상으로 WCI에 대한 one-way ANOVA를 시행한 결과 유의 확률이 유의 수준보다 작게 산출되었으므로($p$ = 0.003) 사후검정을 실시하였다. Custom-bent 군(0.81 ± 0.36 mm)은 custom-cut 군(0.48 ± 0.23 mm) 및 수기 제작 군(0.63 ± 0.29 mm)에 비해 유의하게 큰 WCI 값을 보였다. Custom-cut 군과 수기 제작 군 간에는 유의한 차이가 없었다(Table 1).

같은 계측치를 상, 하악 각각에서 분석한 결과 상악에서는 유지장치 간 WCI 차이가 유의하게 나타났다($p$ = 0.003). 사후검정 결과 custom-bent 군(1.01 ± 0.26 mm)은 custom-cut 군(0.59 ± 0.25 mm) 및 수기 제작 군(0.71 ± 0.23 mm)에 비해 유의하게 큰 WCI 값을 보였다. 반면 하악에서는 세 종류의 유지장치 간 유의한 차이가 없었다($p$ = 0.104) (Table 2; Figure 8).

Two-way ANOVA 결과 유지장치의 종류($p$ = 0.001) 및 상, 하악 여부($p$ < 0.001) 모두 WCI에 유의한 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 유지장치의 종류와 상, 하악 여부 간 교호작용은 관찰되지 않았다($p$ = 0.391).

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

**Table 1.** Comparison of wire clearance at interproximal area (WCI) in 3 retainer groups

| Group | N | Mean ± SD (mm) | *p*-Value | Post-hoc |
|---|---|---|---|---|
| Custom-cut (a) | 20 | 0.48 ± 0.23 | | |
| Custom-bent (b) | 20 | 0.81 ± 0.36 | 0.003** | b > a, c |
| Manual (c) | 20 | 0.63 ± 0.29 | | |

*P*-values were calculated using one-way ANOVA with Tukey's test (α = 0.05).
** significance at the 0.01 level.

**Table 2.** Comparison of wire clearance at interproximal area (WCI) in maxilla and mandible respectively

| | Group | N | Mean ± SD (mm) | *p*-Value | Post-hoc |
|---|---|---|---|---|---|
| Maxilla | Custom-cut (a) | 10 | 0.59 ± 0.25 | 0.002** | b > a, c |
| | Custom-bent (b) | 10 | 1.01 ± 0.26 | | |
| | Manual (c) | 10 | 0.71 ± 0.23 | | |
| | **Group** | **N** | **Mean ± SD (mm)<br>Median (IQR) (mm)** | ***p*-Value** | **Post-hoc** |
| Mandible | Custom-cut | 10 | 0.37 ± 0.16<br>0.32 (0.26 – 0.47) | 0.104 | |
| | Custom-bent | 10 | 0.62 ± 0.34<br>0.53 (0.44 – 0.66) | | |
| | Manual | 10 | 0.54 ± 0.33<br>0.41 (0.31 – 0.69) | | |

*P*-values in maxilla were calculated using one-way ANOVA with Tukey's test (α = 0.05).
*P*-value in mandible was calculated using Kruskal-Wallis test (α = 0.05).
** significance at the 0.01 level.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

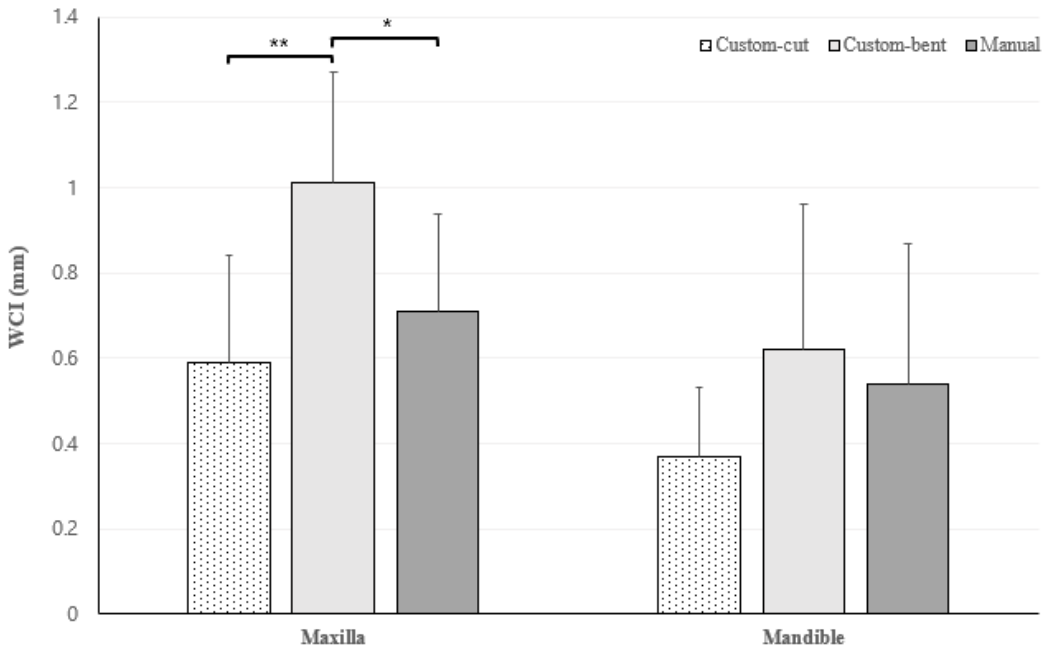


**Figure 8.** Comparison of wire clearance at interproximal area (WCI) in maxilla and mandible respectively.
* significance at the 0.05 level.
** significance at the 0.01 level.

## 나. 초기 편평도 변형

전체 유지장치를 대상으로 초기 편평도 변형에 대한 one-way ANOVA를 시행한 결과 유의 확률이 유의 수준보다 작게 산출되었으므로($p$ = 0.003) 사후검정을 실시하였다. 수기 제작 군(0.80 ± 0.37 mm)은 custom-cut 군(0.06 ± 0.05 mm) 및 custom-bent 군(0.54 ± 0.32 mm)에 비해 유의하게 큰 초기 편평도 변형을 보였다. 또한 custom-cut 군과 custom-bent 군 간에도 유의한 차이를 보였다(Table 3).

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

같은 계측치를 상, 하악 각각에서 분석한 결과 상악에서는 유지장치 간 초기 편평도 변형의 유의한 차이가 있었다($p$ < 0.001). 사후검정 결과 수기 제작 군(1.07 ± 0.19 mm), custom-bent 군(0.77 ± 0.28 mm), custom-cut 군(0.06 ± 0.05 mm) 순으로 초기 편평도 변형이 크게 나타났다. 하악도 상악과 마찬가지로 유지장치 간 초기 편평도 변형의 유의한 차이가 있었으며($p$ < 0.001), 사후검정 결과 또한 상악과 동일하게 수기 제작 군(0.53 ± 0.31 mm), custom-bent 군(0.31 ± 0.13 mm), custom-cut 군(0.05 ± 0.05 mm) 순으로 크게 나타났다(Table 2; Figure 8).

Two-way ANOVA 결과 유지장치의 종류($p$ < 0.001) 및 상, 하악 여부($p$ < 0.001) 모두 초기 편평도 변형에 유의한 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 또한 유지장치의 종류와 상, 하악 여부 간 교호작용이 있는 것으로 관찰되었다($p$ < 0.001).

**Table 3.** Comparison of initial flatness deformation in 3 retainer groups

| Group | N | Mean ± SD (mm) | *p*-Value | Post-hoc |
|---|---|---|---|---|
| Custom-cut (a) | 20 | 0.06 ± 0.05 | | |
| Custom-bent (b) | 20 | 0.54 ± 0.32 | <0.001*** | c > b > a |
| Manual (c) | 20 | 0.80 ± 0.37 | | |

*P*-values were calculated using one-way ANOVA with Tukey's test (α = 0.05).
*** significance at the 0.001 level.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

**Table 4.** Comparison of initial flatness deformation in maxilla and mandible respectively

| | Group | N | Mean ± SD (mm) | *p*-Value | Post-hoc |
|---|---|---|---|---|---|
| Maxilla | Custom-cut (a) | 10 | 0.06 ± 0.05 | <0.001*** | c > b > a |
| | Custom-bent (b) | 10 | 0.77 ± 0.28 | | |
| | Manual (c) | 10 | 1.07 ± 0.19 | | |
| Mandible | Custom-cut (a) | 10 | 0.05 ± 0.05 | <0.001*** | c > b > a |
| | Custom-bent (b) | 10 | 0.31 ± 0.13 | | |
| | Manual (c) | 10 | 0.53 ± 0.31 | | |

*P*-values in maxilla and mandible were calculated using one-way ANOVA with Tukey's test (α = 0.05)
*** significance at the 0.001 level.

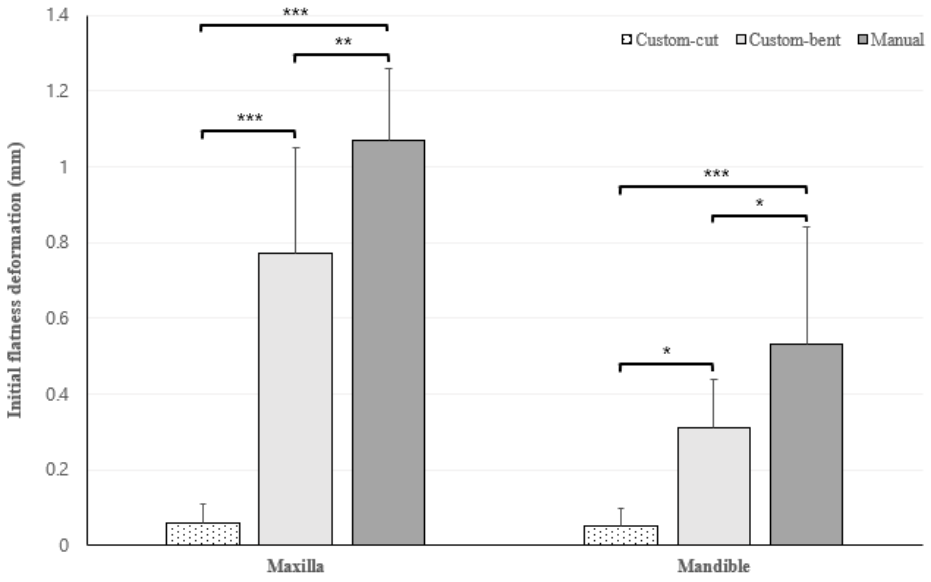


**Figure 9.** Comparison of initial flatness deformation in maxilla and mandible respectively.
* significance at the 0.05 level.
** significance at the 0.01 level.
*** significance at the 0.001 level.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

## 2. 안정성 비교(⊿LW, ⊿AP, ⊿FD)

T0-T1 (1개월, 열순환 처리 850회) 및 T0-T2 (6개월, 열순환 처리 5100회)에서 세 군 간 계측치들의 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 5).

**Table 5.** Comparison of ΔLW, ΔAP, ΔFD in 3 retainer groups

| Variable | Mean ± SD (mm)<br>Median (IQR) (mm) | | | *p*-Value |
|---|---|---|---|---|
| | **Custom-cut** | **Custom-bent** | **Manual** | |
| ΔLW (T0-T1) | 0.04 ± 0.03<br>0.03 (0.01 – 0.05) | 0.06 ± 0.05<br>0.05 (0.02 – 0.07) | 0.06 ± 0.04<br>0.05 (0.02 – 0.08) | 0.207 |
| ΔLW (T0-T2) | 0.03 ± 0.03<br>0.03 (0.01 – 0.05) | 0.08 ± 0.08<br>0.07 (0.01 – 0.15) | 0.06 ± 0.06<br>0.05 (0.02 – 0.11) | 0.092 |
| ΔAP (T0-T1) | 0.03 ± 0.02<br>0.02 (0.01 – 0.04) | 0.03 ± 0.03<br>0.02 (0.01 – 0.05) | 0.04 ± 0.03<br>0.03 (0.02 – 0.07) | 0.203 |
| ΔAP (T0-T2) | 0.03 ± 0.03<br>0.02 (0.01 – 0.05) | 0.04 ± 0.04<br>0.03 (0.02 – 0.05) | 0.03 ± 0.02<br>0.03 (0.02 – 0.04) | 0.383 |
| ΔFD (T0-T1) | 0.04 ± 0.06<br>0.02 (0.00 – 0.04) | 0.05 ± 0.05<br>0.04 (0.01 – 0.08) | 0.04 ± 0.03<br>0.05 (0.01 – 0.07) | 0.215 |
| ΔFD (T0-T2) | 0.04 ± 0.04<br>0.04 (0.01 – 0.07) | 0.04 ± 0.03<br>0.02 (0.01 – 0.05) | 0.06 ± 0.05<br>0.05 (0.02 – 0.10) | 0.402 |

*P*-values were calculated using Kruskal-Wallis test (α = 0.05).

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# Ⅳ. 고찰

교정치료 종료 후 견치 간 너비 감소를 포함한 재발 경향은 분명하며(Eapen and Prakash, 2017), 이런 이유로 많은 교정의사들은 고정식 유지장치를 통한 영구적 유지를 선호하고 있다(Zachrisson, 2007). 디지털 기술의 발전에 힘입어 이전에는 볼 수 없었던 새로운 형태의 설측 고정식 유지장치가 지속적으로 개발되고 있으며, 기존의 유지장치와 새로운 형태의 유지장치 간 비교를 위한 연구들이 활발히 행해지고 있다. 그럼에도 불구하고 아직 임상에서 활용할 수 있는 증거 기반 데이터는 충분하지 않으며, 이는 임상가들로 하여금 환자에게 어떤 종류의 설측 고정식 유지장치를 사용하는 것이 적절한지 결정하기 어렵게 만든다. 특히 CNC cutting 방식의 유지장치와 최근에 도입된 CNC bending 방식의 유지장치를 직접적으로 비교한 연구는 거의 없는 상황이다. 뿐만 아니라 본 연구에 앞서 문헌 고찰을 선행한 결과 설측 고정식 유지장치의 시간 경과에 따른 크기 안정성을 살펴본 연구는 존재하지 않았다. 서론에서 전술한대로 유지장치의 정확도 및 안정성은 임상적 관점에서 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 CNC bending 방식의 설측 고정식 유지장치를 포함하여 유지장치 간 정확도 및 안정성 차이 여부를 평가하고자 하였다.

설측 고정식 유지장치의 성능을 평가하기 위한 기존 연구는 대부분 임상 연구의 형태로 이루어져왔다. 하지만 이러한 방법으로는 동일 개체 내에서 여러 종류의 유지장치를 비교할 수 없으며, 안정성 평가 시 개개인의 교합력이나 혀의 압력 등의 변인을 통제하기 어렵다는 문제점을 지닌다. 이에 본 연구는 순수하게 와이어에 의한 효과만

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

을 비교하기 위하여 실험실 연구를 통해 진행되었다. 또한 안정성 평가 시 구강 내 온도 조건(37℃)에서 장기간의 시간 흐름을 유도하기 위하여 열순환 처리를 사용하였다. Kartal과 Kaya는 대부분의 유지장치 실패가 6개월 내에 일어난다고 보고하였으며(Kartal and Kaya, 2019), 이에 근거하여 임상적으로 유의미한 관찰 기간이라고 생각되는 6개월을 안정성 평가의 시간 기준으로 결정하였다.

유지장치의 정확도와 관련하여 Wolf 등은 CNC cutting 방식 유지장치의 구강 내 부착 전후 스캔 데이터를 중첩하여 치간부에서의 3차원적 위치 변화가 어느 정도인지 측정하였다(Wolf et al., 2015). 해당 연구에서는 0.5 mm의 위치 변화가 있을 경우 임상적으로 유의미하다고 판단하였으며, 결과적으로 치간부에서의 모든 3차원적 계측치에서 0.5 mm보다 작은 변위가 관찰되었다. 또한 Kravitz 등은 치간부 적합도가 우수할수록 정확도가 높다고 판단하였다(Kravitz et al., 2017). 따라서 본 연구에서도 WCI를 정확도 평가를 위한 계측치로 선정하였다. 임상적으로 치면에서의 치아-유지장치 간 공간은 레진에 의해 채워지므로 임상가가 실제로 유지장치 접착 시 정확도 여부를 민감하게 느끼게 되는 영역은 치간부가 될 가능성이 높다. 따라서 유지장치의 정확도를 판정하는 기준으로 WCI를 사용하는 것은 합리적이라고 판단된다.

본 연구에서 전체 유지장치를 대상으로 WCI를 비교했을 때 custom-bent 군이 custom-cut 군과 수기 제작 군보다 유의하게 높은 값을 보였다(Figure 10). 수기 제작 군은 custom-cut 군에 비해 WCI 값이 높은 경향을 보였으나 통계적 유의성은 없었다. 이러한 결과는 유지장치 제작 방식의 특성 차이에 기인한 것으로 보인다. CNC cutting 방식은 금속판을 깎아서 제작하므로 개별 치아 형태에 맞게 높은 수준의 치간부 연장(interproximal extension)이 가능하지만 CNC bending 방식의 경우

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

bending pin (Figure 3-C) 자체의 두께로 인해 유지장치에 부여할 수 있는 곡률에 한계가 있다. 즉, bending pin 두께 이하의 협소한 부위에서는 그 형태를 재현하기 어려워진다.

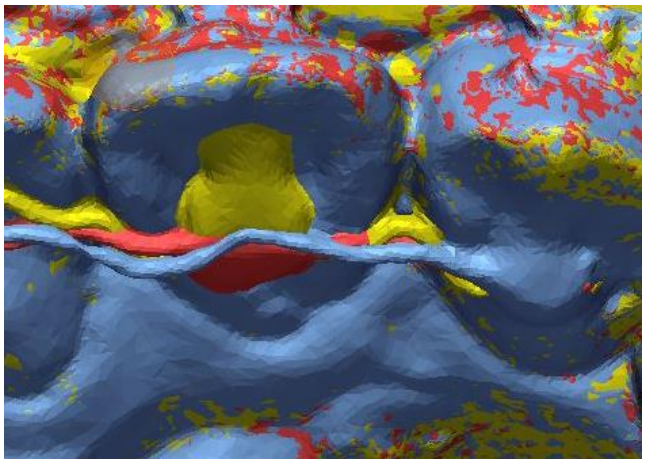

**Figure 10.** Superimposition of three types of retainers simultaneously (yellow: custom-cut group, blue: custom-bent group, red: manual group).

상, 하악 각각에서 유지장치 간 WCI 차이를 비교하였을 때는 상악과 하악의 양상이 다르게 나타났다. 상악에서는 유지장치 전체를 대상으로 하였을 때와 동일하게 custom-bent 군이 custom-cut 및 수기 제작 군에 비해 정확도가 낮은 것으로 나타났다. 하지만 하악에서는 세 유지장치 간 유의한 차이가 없었다. 이는 상악 치아와 하악 치아의 해부학적 구조 차이 때문으로 생각된다. Kravitz 등은 CNC cutting 방식의 유지장치가 종래의 수기 제작 유지장치에 비해 특히 상악에서 이점을 가진다고 보았는데, 이는 상악의 풍융한 변연융선 또는 전형적이지 않은 치아 형태로 인하여 전통적인 방법으로는 유지장치를 치아에 밀접하게 적합시키는 것이 어렵기 때문이라고 하였다(Kravitz et al., 2017). 본 연구에서는 전치부에 기형치가 있는 경우를 연구대

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

상에서 제외하였으므로 상, 하악에서 세 유지장치 간 WCI 값이 다른 양상을 보이는 주된 원인은 변연융선 풍융도 및 치간부 형태의 차이라고 판단된다. 하악 치아는 상악 치아에 비하여 곡률이 작으므로 bending pin이나 사람의 손이 CNC cutting 방식 유지장치와 비슷한 수준으로 해부학적 형태를 구현할 수 있을 것이라 예측할 수 있다. 한편, two-way ANOVA 결과 전체 유지장치에 대해 상악의 WCI 값은 하악보다 유의하게 크게 나타났다. 이는 상대적으로 상악 유지장치가 하악 유지장치에 비해 정확도가 낮다는 것을 의미하며 앞서 언급한 바와 같이 치아의 해부학적 형태 차이가 주된 원인일 것으로 생각된다. 유지장치의 종류와 상, 하악 여부 간에 교호작용은 관찰되지 않았다.

초기 편평도 변형은 본 연구에서 측정한 또다른 정확도 관련 계측치로 이 값이 클수록 완성된 유지장치가 초기에 설정한 기준 평면으로부터 수직적으로 많이 변위되었음을 의미한다. 전체 유지장치를 대상으로 하였을 때, 세 군 간 초기 편평도 변형의 유의한 차이가 있었으며 그 값은 수기 제작 군, custom-bent 군, custom-cut 군 순으로 크게 나타났고 이 역시 제작 방식의 특성과 관련이 있다. 수기 제작 방식은 사람의 손으로 많은 횟수의 bending을 가하기 때문에 매 bending 시 평면이 틀어지는 것을 통제하기 어렵고, 미세한 평면 뒤틀림은 육안으로 관찰하기도 쉽지 않아 제작 동안 평면 뒤틀림을 정확히 제어하는 것이 난해하다. CNC bending 방식은 수기 제작 방식에 비해 bending 횟수가 적어 평면 뒤틀림이 발생할 기회를 낮추지만, bending pin이 여러가닥 와이어의 오목한 부분을 구부리는지 볼록한 부분을 구부리는지에 따라 평면 뒤틀림의 양상이 달라진다. 따라서 단일 가닥 와이어를 사용한다면 초기 편평도 변형은 감소할 것으로 기대되나, 이 경우 와이어의 유연성(flexibility)이 낮아지

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

는 등 다른 문제가 발생할 가능성이 있다.

상, 하악 각각에서 초기 편평도 변형을 살펴본 결과 전체 유지장치를 대상으로 분석했을 때와 동일하게 수기 제작 군, custom-bent 군, custom-cut 군 순으로 큰 값을 보였다. Two-way ANOVA를 시행한 결과 상악이 하악에 비해 유의하게 높은 초기 편평도 변형을 보여 WCI와 마찬가지로 상악의 정확도가 하악에 비해 낮은 것으로 나타났다. 또한 유지장치의 종류와 상, 하악 여부 간의 교호작용도 유의하게 나타났다. 이는 custom-bent 군과 수기 제작 군은 상, 하악의 계측치 차이가 크게 나타나는 것과 달리 custom-cut 군은 상, 하악 간에 비슷한 수준으로 제작된 점이 반영된 것으로 보인다(Table 4; Figure 9). 요약하면, 초기에 설정한 기준 평면에 수직적으로 가장 근접하게 제작되는 유지장치는 custom-cut 군이며, 특히 상악에서 다른 두 종류의 유지장치에 비해 우수하다고 볼 수 있다.

기존의 선행연구들은 종래의 설측 고정식 유지장치의 안정성에 의문을 제기해왔다. Kartal 등은 여러가닥 와이어의 뒤틀림으로 인해 치아 이동을 일으킬 가능성이 있다고 하였으며(Kartal et al., 2021), Pazera 등은 설측 고정식 유지장치의 합병증 발생과 관련하여 여러가닥 와이어의 생역학적 특성에 대해 추가적인 연구가 필요하다고 보고하였다(Pazera et al., 2012). 본 연구에서 안정성 평가를 위해 ⊿LW, ⊿AP, ⊿FD 값을 산출하여 분석한 결과 모든 계측치에서 통계적 유의성이 관찰되지 않았다. 즉, 6개월 범위(열순환 처리 5100회) 내에서 세 종류 유지장치의 시간에 따른 안정성 차이는 유의하지 않았으며 여러가닥 와이어를 이용한 custom-bent 군 및 수기 제작 군이 custom-cut 군에 비해 열등하지 않았다. 결과적으로 본 연구에서 사용된 유지장치들의 제작 방식과 재료가 달랐으나 이들 요소가 유지장치의 안정성에 기여하는 바는 크지 않을

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

것으로 생각된다. 하지만 더욱 장기간 동안의 안정성을 평가하는 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 두 종류의 설측 고정식 유지장치 및 수기 제작 유지장치의 정확도와 안정성을 실험실 연구 기반으로 비교, 평가하였다. 유지장치의 종류에 따라 6개월 기간 내에서의 안정성은 차이가 없었으며, 정확도 차이가 존재하는 것을 확인하였다. 이는 임상적으로 보다 정확도가 높은 CNC cutting 방식의 유지장치 접착 시 이상적인 위치(초기에 설정했던 기준 평면)에 접착하기 용이하고, 진료 시간을 줄일 수 있으며, 합병증이 발생할 가능성이 낮아질 수 있다는 것을 의미한다. 한편, CNC bending 방식 유지장치의 경우 정확도는 다소 떨어지나 가장 단시간 내에 제작하여 환자가 내원한 당일 신속히 접착할 수 있다. 또한 CNC bending 방식 유지장치는 수기 제작 유지장치와 비교 시 초기 편평도 변형이 적고 미리 정해진 지점에서 최소 횟수의 bending을 부여하므로 수기 제작 방식에 비해 bending 횟수가 적다는 장점이 있다. 즉, 와이어 변형이 더 적을 것이고 피로에 의한 와이어 파절에 더 강하게 저항할 것이라고 추측할 수 있다. 하지만 이를 입증하기 위해서는 추가적인 연구를 통한 과학적 데이터 획득이 선행되어야 한다. 대합치에 의한 간섭의 위험이 없고 치아 형태상 비교적 높은 정확도를 기대할 수 있는 하악에서는 CNC bending 방식 유지장치 사용을 고려해볼만 하다.

본 연구에서는 몇 가지 한계점이 존재한다. 먼저 계측의 정확도를 저해할 수 있는 요인이 있으며, 특히 CNC cutting 방식 유지장치의 경우 제작을 외부에 의뢰하므로 기준 평면의 설정에 있어 오차가 발생할 수 있다. 두번째로 본 연구에서 사용한 열순환 처리는 근사(approximation)에 기반한 실험 기법이므로 실험 결과 해석에 있어 주의가 필요하다. 마지막으로 본 연구에서는 견치-견치 설측 고정식 유지장치에 대해서만 평가하였다는 한

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

계를 지닌다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 선행 연구들이 다루지 않았던 CNC bending 방식 유지장치를 포함하여 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 유지장치들을 직접적으로 비교하였으며, 특히 시간에 따른 와이어의 안정성을 실험실 연구 기반으로 분석하였다는 데 의의가 있다. 앞으로의 추가 연구에서는 6개월 이상 장기간 동안의 안정성을 평가해볼 필요가 있다. 또한 임상에서 제1소구치-제1소구치 범위의 유지장치도 널리 이용되는 바, 연구 대상을 견치-견치 유지장치 뿐 아니라 제1소구치-제1소구치 유지장치로 확장한다면 임상가들에게 더 풍부한 근거기반 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# V. 결론

본 연구에서는 3차원 스캔 모형 기반으로 제작된 설측 고정식 유지장치의 정확도 및 안정성을 비교하였다. 정확도를 반영하는 WCI 및 초기 편평도 변형에 대해 군 간 차이가 유의하게 나타났으므로 본 연구의 귀무가설 중 정확도에 대한 가설을 기각한다. 한편, 안정성을 반영하는 계측치들에 대해 군 간 통계적 유의성이 없으므로 본 연구의 귀무가설 중 안정성에 대한 가설을 채택한다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. WCI를 기준으로 상악에서는 custom-cut 군 및 수기 제작 군이 custom-bent 군보다 높은 정확도를 보여주었으나 하악에서는 군 간 유의한 차이가 없었다.
2. 초기 편평도 변형을 기준으로 상, 하악 모두에서 custom-cut 군, custom-bent 군, 수기 제작 군 순으로 높은 정확도를 보였다.
3. 6개월 범위(열순환 처리 5100회)에서 세 군 간 안정성의 유의한 차이는 없었다.

상기 결론을 토대로 안정성에는 유지장치 간 차이가 없으므로 정확도를 고려 시 CNC cutting 방식의 유지장치를 사용하는 것이 추천된다. 하지만 정확도와 안정성이 유지장치 선택 시 고려해야 할 유일한 요소는 아니며, 각 유지장치별로 장단점이 존재하므로 임상적 환경을 고려하여 유지장치 제작 방법을 선택해야 할 것으로 생각된다.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

# 참고문헌

Aycan M, Goymen M (2019). Comparison of the different retention appliances produced using CAD/CAM and conventional methods and different surface roughening methods. *Lasers in medical science* 34(2): 287-296.

Eapen JC, Prakash A (2017). Enigma of Fixed Retainers. *Orthodontic Journal of Nepal* 7(2): 52-55.

Gelin E, Seidel L, Bruwier A, Albert A, Charavet C (2020). Innovative customized CAD/CAM nickel-titanium lingual retainer versus standard stainless-steel lingual retainer: A randomized controlled trial. *Korean journal of orthodontics* 50(6): 373.

Gumus HS, Polat NT, Yildirim G (2018). Evaluation of fracture resistance of inlay-retained fixed partial dentures fabricated with different monolithic zirconia materials. *The Journal of prosthetic dentistry* 119(6): 959-964.

Hu X, Ling J, Wu X (2019). The CAD/CAM method is more efficient and stable in fabricating of lingual retainer compared with the conventional method. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research* 18(3): 1-4.

Kartal Y, Kaya B (2019). Fixed orthodontic retainers: a review. *Turkish journal of orthodontics* 32(2): 110.

Kartal Y, Kaya B, Polat-Özsoy Ö (2021). Comparative evaluation of periodontal effects and survival rates of Memotain and five-stranded bonded retainers. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 82(1): 32-41.

Kim Y-JR, Ha H-J, Lee S-J, Lee E-H, Ryu J-J (2016). Digital orthodontics using customized appliance system. *The journal of the Korean dental association* 54(2): 134-141.

Knaup I, Wagner Y, Wego J, Fritz U, Jäger A, Wolf M (2019). Potential impact of lingual retainers on oral health: comparison between conventional twistflex retainers and CAD/CAM fabricated nitinol retainers. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 80(2): 88-96.

Kravitz ND, Grauer D, Schumacher P, Jo Y-m (2017). Memotain: A CAD/CAM nickel-titanium lingual retainer. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 151(4): 812-815.

Lee M-J, Kim J-Y, Seo J-Y, Mangal U, Cha J-Y, Kwon J-S, et al. (2020). Resin-Based Sealant with Bioactive Glass and Zwitterionic Material for Remineralisation and Multi-Species Biofilm Inhibition. *Nanomaterials* 10(8): 1581.

Lee W, Vaid N (2015). Incognito™ lite lingual orthodontic appliance: enhancing the scope of targeted mechanics with customized computer-aided design/computer-aided manufacturing therapy. *APOS Trends in*

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

*Orthodontics* 5(3): 120-120.
Littlewood S, Kandasamy S, Huang G (2017). Retention and relapse in clinical practice. *Australian dental journal* 62: 51-57.
Möhlhenrich SC, Jäger F, Jäger A, Schumacher P, Wolf M, Fritz U, et al. (2018). Biomechanical properties of CAD/CAM-individualized nickel-titanium lingual retainers: an in vitro study. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 79(5): 309-319.
Nagani NI, Ahmed I, Tanveer F, Khursheed HM, Farooqui WA (2020). Clinical comparison of bond failure rate between two types of mandibular canine-canine bonded orthodontic retainers-a randomized clinical trial. *BMC Oral Health* 20(1): 1-6.
Park JH (2014). Clinical Applications of CBCT and 3D Digital Technology in Orthodontics. *The journal of the Korean dental association* 52(1): 8-16.
Pazera P, Fudalej P, Katsaros C (2012). Severe complication of a bonded mandibular lingual retainer. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 142(3): 406-409.
Sadowsky C, Sakols EI (1982). Long-term assessment of orthodontic relapse. *American journal of orthodontics* 82(6): 456-463.
Samson RS, Varghese E, Uma E, Chandrappa PR (2018). Evaluation of bond strength and load deflection rate of multi-stranded fixed retainer wires: an in-vitro study. *Contemporary clinical dentistry* 9(1): 10.
Shaughnessy TG, Proffit WR, Samara SA (2016). Inadvertent tooth movement with fixed lingual retainers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 149(2): 277-286.
Shim H, Foley P, Bankhead B, Kim KB (2021). Comparative assessment of relapse and failure between CAD/CAM stainless steel and standard stainless steel fixed retainers in orthodontic retention patients: A randomized controlled trial. *The Angle Orthodontist*.
Wolf M, Schumacher P, Jäger F, Wego J, Fritz U, Korbmacher-Steiner H, et al. (2015). Novel lingual retainer created using CAD/CAM technology. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* 76(2): 164-174.
Zachrisson BU (2007). Long-term experience with direct-bonded retainers: update and clinical advice. *Journal of Clinical Orthodontics* 41(12): 728.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

ABSTRACT

# Accuracy and Stability of Computer-Aided Customized Lingual Fixed Retainer

Seung Hyun Kang

Department of Dentistry

The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Prof. Kee-Joon Lee, D.D.S., M.S., PhD)

In modern Orthodontics, lingual fixed retainers are commonly used for permanent retention after treatment. With the introduction and development of digital technology into the field or Orthodontics, various types of lingual fixed retainers are now available. Although the accuracy and stability of retainers are clinically important, evidence-based information on them is not yet sufficient. This study evaluated the accuracy and stability of two types of computer-aided customized lingual fixed retainers (CNC cutting and CNC bending) and conventional lingual fixed retainers (manual bending) quantitatively based on laboratory experiment.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

Twenty duplicated dental models (ten maxillary and mandibular models each) were selected. Design of retainers was set up using dental surveyor and reference plane was defined by three small dimples on dental models. Three types of retainers (custom-cut, custom-bent, manual group) were fabricated for each model on canine-to-canine area. Wire clearance at interproximal area (WCI) and initial flatness deformation were measured at T0 (right after the fabrication of retainer) for evaluation of accuracy of retainers. Lateral width (LW), anteroposterior length (AP) and flatness deformation (FD) were measured at T0, T1 (thermocycling 850 cycles for simulation of 1 month), T2 (5100 cycles for 6 months) and absolute value of changes between each time point (⊿LW, ⊿AP, ⊿FD) was calculated for evaluation of stability of retainers. Thermocycling technique was used to induce 6 months of time flow.

1. WCI: In maxilla, custom-bent group showed significantly higher WCI than custom-cut and manual group ($p$ = 0.003). In mandible, no significant difference was observed between three groups ($p < 0.001$).
2. Initial flatness deformation: In maxilla and mandible, manual group, custom-bent group and custom-cut group showed high values in order ($p < 0.001$).
3. ⊿LW, ⊿AP, ⊿FD: No significant difference was found during 6-month period (thermocycling 5100 cycles).

Since there was no difference in stability between three groups, it is recommended to use custom-cut type retainers in consideration of accuracy.

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

However, accuracy and stability are not the only factors to consider when selecting type of retainers and since each retainer has its advantages and disadvantages, it is thought that the type of retainers should be decided in consideration of the clinical environment.

---

Key words: Lingual fixed retainer, CNC cutting, CNC bending, Thermocycling