

망사 및 스틱 형태의 유리섬유 보강재를 삽입한 의치상용 레진의 굴곡강도 및 굴곡계수 비교 평가

김동연, 김재홍*

폴드 치과기공소, 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과*

Comparative evaluation of flexural strength and modulus of denture base resin with mesh and stick type glass fiber reinforcement

Dong-Yeon Kim, Jae-Hong Kim*

4RD Dental Laboratory, Seoul 04512, Korea

Department of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan*

[Abstract]

Purpose: This study is to compare the flexural strength and modulus by inserting a mesh and stick type fiberglass reinforcement into resin specimens.

Methods: Wax specimens (length 64 mm, width 39 mm, thickness 5 mm) are prepared according to ISO 20795-1:2013. Mesh type and stick type glass fiber reinforcements were prepared. The prepared wax specimens were used plaster and flask for investment. The flask was separated and the wax was removed. The heat curing resin was injected into the flask, and then a mesh type and stick type fiberglass reinforcement were inserted. The prepared resin specimen was cut into three equal parts (length 64 mm, width 10 mm, thickness 3.3 mm). The mesh type glass fiber reinforcement (MT group) and the stick type glass fiber reinforcement (ST group) were classified into two groups. The prepared specimen was measured using a universal testing machine (UTM). The data were analyzed by Mann-Whitney U test, and the significance level was set to 0.05.

Results: In the flexural strength, the ST group was higher than the MT group, and there was a significant difference between the two groups ($p < 0.05$). In the flexural modulus, the ST group was higher than the MT group, and there was a significant difference between the two groups ($p < 0.05$).

Conclusion: The stick-type glass fiber increased the flexural strength than the mesh-type glass fiber reinforcement.

○ **Key words:** ISO 20795-1, Glass fiber, PMMA, Reinforcement

Corresponding author	Name	김 동 연	Tel.	02-3789-4321	E-mail	kdy1713@korea.ac.kr
	Address	서울시 중구 세종대로 1길 9 폴드 치과기공소				
Received	2020. 3. 24	Revised	2020. 6. 15	Accepted	2020. 6. 22	

I. 서론

레진의치는 열중합형 polymethylmethacrylate (PMMA)의 주성분으로 제작된다. 열중합형 PMMA는 생체적합성, 조작성, 경제성, 심미성을 높게 평가받고 있으나 열전도가 낮고, 중합수축, 낮은 물리적 성질로 단점을 가지고 있다(Jeong, 1996; Hari et al., 2011; Kim et al., 2014^a; Kim et al., 2017). 특히 물리적 성질이 낮은 단점으로 인해서 단단한 음식을 섭취 시 양측 교합면에 하중이 가해지며 굽힘 현상으로 인해 파절 현상이 빈번하게 발생하였다.

구강 내 레진의치 장착 후 3년 이내에 약 68%가 의치 파절 현상이 빈번하였다고 하였으며(Hargreaves, 1969), 1년 이내에 28%가 의치 수리가 필요하다고 하였으며, 3년 이내에서는 39%의 의치 수리가 필요하다고 보고된 바 있다(Yli-Urpo et al., 1985; Kim et al., 2014^a). 레진의치의 파절 양상을 보게 되면 상악 레진의치는 정중구개(midline) 부위에 파절 현상이 발생되며, 하악 레진의치는 전치부 치조부 중앙 부위에 주로 발생된다(Polyzois, 1996; Takahashi et al., 2011; Kim et al., 2017). 상악 레진의치와 하악 레진의치의 파절 양상을 보강하기 위해서 금속, 탄소, 유리섬유 보강재 등이 소개 되었다(Kim et al., 2014^a).

금속 보강재는 금속의 특성상 물리적 성질이 우수함으로써 폭넓게 사용되고 있으나 조작성이 어렵고, 심미성 낮으며, 무게가 무겁고, 열 중합 레진과 금속 보강재의 결합이 낮은 단점들이 있다(Yu et al., 2009; Kim et al., 2014^a). 반면 유리섬유 보강재는 금속 보강재에 비해 물리적 특성은 다소 낮지만 다루기가 쉽고 두께가 두꺼울수록 강도는 높아진다고 하였다(Kim et al., 2014^a).

레진의치에 사용하는 유리섬유 보강재는 일반적으로 망사형으로 상악 및 하악 레진의치에 주로 사용하고 있다. 상악 레진의치에 망사형 유리섬유를 사용 시 효율성이 있었으나, 하악 레진의치의 전치부 중앙에는 응력이 집중되기 때문에 망사형 보강재의 효과는 다소 낮았다. 이러한 문제를 해결하고자 하악 전용으로 스틱형 유리섬유가 소개되었다. 하악 전용 유리섬유는 두께 조

절이 가능하여 강도를 높일 수 있고, 치조 악궁 모형에 따라 U자 모형으로 성형이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 스틱형 유리섬유 보강재는 하악 레진의치뿐만 아니라 상악 레진의치의 응력이 집중되는 부위에도 사용이 가능하다(Vallittu et al., 1994; Takahashi et al., 2011).

보강재의 중요한 요소들은 많지만 가장 중요한 요소는 굴곡강도와 굴곡계수이다. 굴곡강도와 굴곡계수가 높을수록 파절되는 현상을 줄일 수 있으므로 수리 비율 또한 낮출 수 있다. 망사형 유리섬유 보강재는 많은 연구가 진행되었으나 스틱형 유리섬유에 대한 굴곡강도 및 굴곡계수에 대한 연구는 부족하였다.

따라서 본 연구에서는 망사 및 스틱형 유리섬유 보강재를 레진의치에 삽입하여 굴곡강도와 굴곡계수를 비교 평가를 하고자 한다. 귀무가설은 망사형과 스틱형 유리섬유 보강재의 굴곡강도의 차이는 없다.

II. 연구 방법

1. 실험재료

레진 시편의 재료는 열중합 레진(Vertex RS, Vertex Dental B.V, Netherland)을 사용하였다. 유리섬유 보강재는 망사(SES MESH, INNO Dental, Korea)형태(Mesh type; MT group)와 스틱(SES LOWER MESH, INNO Dental, Korea)형태(Stick type; ST group)로 준비하였다(Fig. 1).

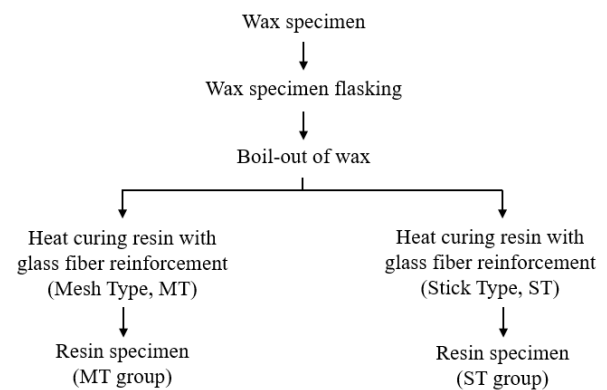


Figure 1. Study design.

2. 시편제작 기준

본 연구에서 사용한 시편제작 기준은 국제표준규격 ISO 20795-1:2013에 근거하여 제작하였다. 시편의 형태는 길이 64 mm, 폭 39 mm, 두께 5 mm으로 제작하고, 절단 기구를 사용하여 3 등분으로 분할하였으며, 연마 도구를 사용하여 길이 64 mm, 폭 10 mm, 두께 3.3 mm로 보정하였다(Fig. 2).

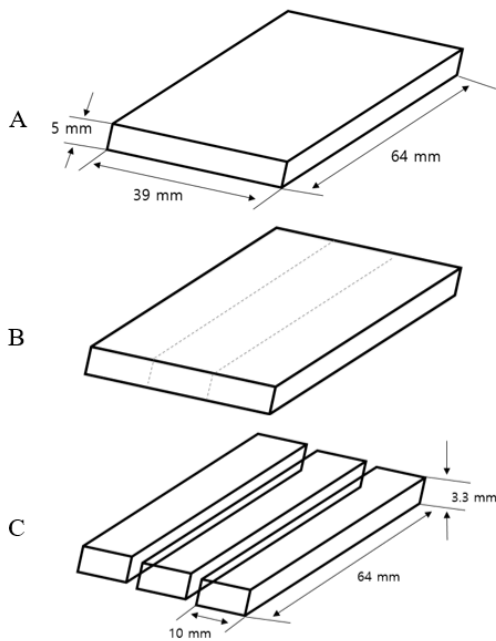


Figure 2. Specimen preparation process through ISO 20795-1 (A) Preparation of specimen plate before 3 divisions (B) Divide the specimen into three (C) The specimens for flexural strength and flexural modulus were divided into three, and the thickness was trimmed through polishing.

레진시편의 규격에 맞추어 CAD(Computer aided design) 소프트웨어를 사용하여 디자인(길이 64 mm, 폭 39 mm, 두께 5 mm)을 하였으며, 디자인된 CAD 파일은 CAM(DWX-50, Roland, Japan) 장비에 적용하여 왁스 밀링(Milling wax, E-max, Korea)을 하여 왁스시편(n=1)을 제작하였다. 왁스 밀링 후 복제용 실리콘을 사용하여 음형의 실리콘(n=1)을 제작하였다. 음형의 실리콘에 파라핀 왁스(Ex-Hard wax, Daedong, Korea)를 녹여 4회 반복하여 4개의 파라핀 왁스시편을 제작하였다(Fig. 3).

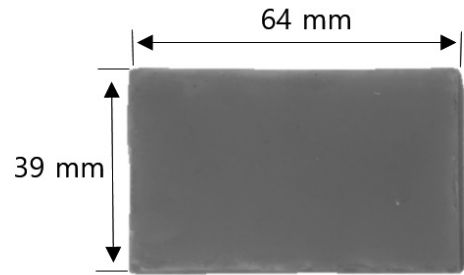


Figure 3. Replica paraffin wax specimen.

준비된 시편을 매몰하기 위해서 레진의치용 매몰함(Flask upper, Osung, Korea) 4개를 준비하였다. 준비된 시편을 석고(Snow rock plaster, Munkyo, Korea)를 사용하여 매몰함에 1개씩 1차 매몰하였다. 이때 파라핀 왁스시편을 2.5 mm 잠기도록 매몰하였다(Fig. 4). 실온에서 1차 석고를 1시간 동안 방치한 후 석고분리제(Magic sep, Talladium, USA)를 도포하였다. 석고분리제가 건조된 후 석고(Snow rock plaster, Munkyo, Korea)를 사용하여 2차 매몰을 진행하였다. 석고가 최종 경화되도록 1시간 동안 실온에 방치하였다. 통법에 따라서 매몰함 내부의 왁스를 제거하기 위해서 100℃의 온성기(Curing unit, Seki Dental, Korea)에 5분 동안 담갔다가 함을 분리하였다. 왁스 스틱기를 사용하여 파라핀 왁스시편을 깨끗하게 제거하였다(Fig. 4).

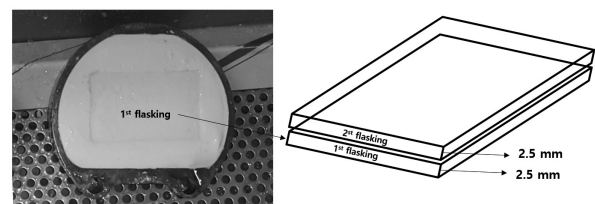


Figure 4. Boil-out of paraffin wax specimen.

매몰함이 따뜻한 상태에서 레진 분리제(Acrosep, GC, Japan)를 얇게 도포하였다. 매몰함 총 4개에 열중합 레진(Vertex RS, Vertex Dental, Netherland)을 먼저 주입하고 나서 2개는 망사형 유리섬유 보강재를 삽입하였고, 다른 2개의 매몰함에는 스틱형 유리섬유 보강재를 삽입하였다. 망사형 유리섬유는 평평하게 고정하고 UV 경화기(Curing unit, INNO Dental,

Korea)를 사용하여 경화하였다. 길이 60 mm, 폭 35 mm로 0.45 mm 크기로 잘라냈다. 스틱형 유리섬유는 광경화기를 사용하기 전에 길이 60 mm, 폭 3 mm, 두께 1 mm 크기로 잘라내고 광경화기를 사용하여 경화하였다(Fig. 5).

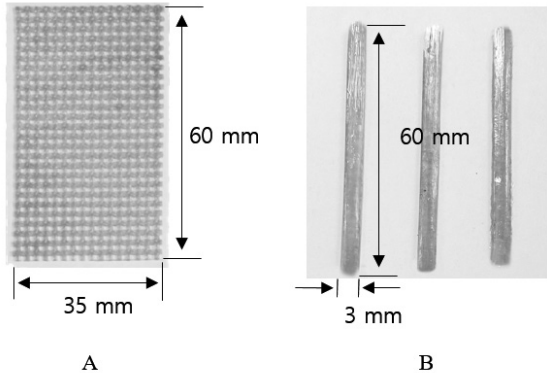


Figure 5. Glass fiber reinforcement for specimen fabrication. A Mesh type, B Stick types.

열중합 레진 혼합비율(power 21.5 g, liquid 10 ml)은 제조사 지시에 따라 병상단계에서 전입하였다. 망사형 및 스틱형 유리섬유가 시편 가운데에 삽입되도록 레진을 반으로 나누어 1차 함과 2차 함에 먼저 주입하였다. 1차 함의 열중합 레진 위에 투명 비닐을 씌우고 나서 2차 함을 결합하였다. 프레스기를 사용하여 함을 시압하였다. 다시 1차 함과 2차 함을 분리하여 여분의 레진을 제거하였다. 이어서 1차 함의 열중합 레진 위에 준비된 유리섬유 보강재를 올려놓고 1차 함과 2차 함을 다시 결합하였다. 프레스기를 사용하여 함을 시압 하였다. 다른 매물함도 동일하게 진행하였다. 이어서 제조사의 지시에 따라 100℃ 온성기(Curing unit, Seki Dental, Korea)에 함을 넣어 20분 동안 중합을 하였다. 20분이 지난 후 실온에서 식을 때까지 24시간 방치하고 매물함을 분리하였다. 중합이 완료된 레진시편은 절단 장비를 사용하여 3등분으로 절단하였다. 3등분으로 분리된 시편은 굴곡강도 측정을 위해서 ISO 20795-1:2013 표준규격에 맞게 연마를 하였다. 연마 시 마찰로 인한 열 발생을 최소화하기 위해서 습식 연마기(M-Prep 3; ALLIED, USA)를 사용하였으며 실리콘 카바이드 종이는 600 grit로 사용하였다. 디지털 캘리퍼스(CD-

20PSX, Mitutoyo, Japan)를 사용하여 두께를 지속적으로 확인하면서 시편을 다듬었다. 각 그룹마다 총 6개이지만 본 시험에서는 1개씩 제외하고 5개씩만 만능시험기를 사용하여 측정하였다.

3. 3점 굴곡강도 시험

각 그룹마다 준비된 시편은 37 ± 1℃ 수중에 50 ± 2 시간 동안 보관하였다. 시편은 디지털 캘리퍼스(CD-15CPX, Mitutoyou, Japan)를 사용하여 가로와 세로를 측정하는 다음 시편의 너비가 넓은 쪽을 3점 굽힘 시험기의 지지롤러 중앙에 오도록 올려 놓았다. 만능강도시험기(Instron 4467, Instron, U.S.A)의 지지대간 거리는 50 mm로 고정하였으며, cross head 시험 속도는 5 mm/min로 설정하였다(Fig. 6). 굴곡강도와 굴곡계수의 계산 값은 국제표준규격인 ISO 20795-1:2013에 따라서 진행하였다.

- 굴곡강도의 계산 값

$$(\sigma) = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

F: 시편에 가해지는 최대하중(N)

l: 지지롤러 중심 사이의 거리(50 mm)

b: 시편의 폭(mm)

h: 시편의 높이(mm)

- 굴곡계수의 계산 값

$$(E) = \frac{F_1 l^3}{4bh^3d}$$

F₁: 탄성변형구간의 최대하중(N)

l: 지지롤러 중심 사이의 길이(50 mm)

b: 시편의 폭(mm)

h: 시편의 높이(mm)

d: F₁에서의 변의(mm)

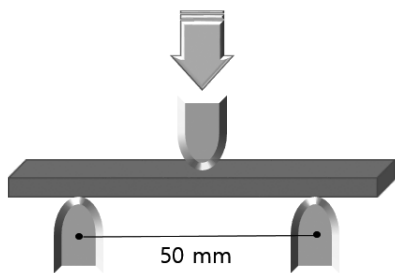


Figure 6. Schematic cross-section of applying the load on the specimen for flexural strength and modulus.

4. 통계 및 분석

측정된 데이터 값은 정규성을 만족하였으나 시편의 수량이 적기 때문에 비모수 검정인 Mann-Whitney U 검정으로 서로 차이가 있는지 확인하였다. 측정 자료 분석은 통계 소프트웨어(SPSS 22.0, IMB, USA) 사용하여 0.05 유의 수준으로 실시하였다.

III. 결과

본 연구에서의 굴곡강도는 ST 집단이 116.07 MPa

로 MT 집단의 84.64 MPa보다 높게 나타났으며, 중의 값 또한 115.77 MPa로 MT 집단의 83.35 MPa보다 높게 나타났다. 굴곡계수는 ST 집단이 3406.93 MPa로 MT 집단의 2567.57 MPa보다 높게 나타났으며, 중의 값 또한 3376.61 MPa로 MT 집단의 2608.99 MPa보다 높게 나타났다. ST 집단과 MT 집단 간 차이를 통계 분석하여 검증한 결과 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$) (Table 1, 2).

IV. 고찰

레진의치의 파절 현상은 자체의 결함 또는 적합 저하 상태에서 저작압을 지속적으로 진행할 경우 발생하게 되며, 또한 보강재 사용 없이 레진의치를 제작할 경우 PMMA 재료 특성상 낮은 파절 저항성을 가진다. 상악 레진의치의 주로 파절되는 부위는 구개 정중부를 따라 응력의 집중되어 절치유두 부위에서 가장 큰 응력이 작용한다고 보고하였으며, 하악 레진의치는 전치부 치조부 중앙 부위에 응력이 작용한다고 하였다(Jin & Cho, 2013; Kim et al., 2018). Choudhary(2019)에 의하면 수리 및 보강재를 제외한 상악 레진의치 256개,

Table 1. Mean, standard deviation, median, 95% confidence interval and p-value for flexural strength of MT and ST group (unit: MPa)

Group	Flexural strength					p-value*
	Mean	SD	Median	95% CI		
				Min	Max	
MT group	84.64	2.85	83.35	81.1	88.17	0.008
ST group	116.07	11.19	115.77	102.18	129.97	

* Mann-Whitney U test

Table 2. Mean, standard deviation, median, 95% confidence interval and p-value for flexural modulus of MT and ST group (unit: MPa)

Group	Flexural Modulus					p-value*
	Mean	SD	Median	95% CI		
				Min	Max	
MT group	2567.57	98.94	2608.99	2444.71	2690.43	0.008
ST group	3406.93	280.63	3376.61	3058.48	3755.37	

* Mann-Whitney U test

하악 레진의치 200개에 대하여 파절 분석을 진행하였는데, 상악 레진의치의 정중부위(midline) 파절 현상이 46.87% 발생하였고 하악 레진의치의 정중부위는 61% 발생되었다. 다른 부위 파절 양상 보다 정중 부위의 파절 빈도가 높았다.

레진의치의 굴곡강도는 교합력에 의한 파절에 버틸 수 있는 지표이다. ISO 20795-1:2013(Dentistry - Base polymers - Part 1: Denture base polymers)에서는 열중합 레진의 굴곡강도 및 굴곡계수에 대해서 국제표준 기준치를 제시하고 있다. 굴곡강도에서는 65 MPa 이상의 강도가 있어야 하며, 굴곡계수는 2,000 MPa 이상을 넘어야 하는 기준치를 정의하고 있다(ISO-20795-1, 2013). 본 연구에서는 두 그룹 모두 ISO 20795-1:2013에서 제시하는 국제표준 기준치를 충족하였고, ST 집단이 MT 집단에 비해 굴곡강도 및 굴곡계수가 높았으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 따라서 본 연구의 귀무가설은 기각되었다.

유리섬유 보강재는 물리적으로 검증된 많은 연구가 보고되고 있다. Jin & Cho(2013)의 망사형 유리섬유 보강재를 레진시편에 삽입한 굴곡강도 연구결과에서는 89.40~93.41 MPa 강도를 나타냈다. 본 연구에서도 선행연구와 비교하여 MT 집단의 84.64 MPa로 유사한 결과 값을 보였으며, 국제 표준 기준치에 비해 약 1.3배로 높게 나타났다. 스틱형 보강재는 116.07 MPa로 기존 선행연구들과 비교하였을 때 높은 결과 값을 보였으며 국제 표준 기준치에 약 1.8배로 높았다. ST 집단을 MT 집단과 비교하였을 때 굴곡강도는 약 1.4배로 높았다.

굴곡계수는 시편이 하중을 받는 물체가 변형되는 정도를 나타내는 것이며, 외부로부터 하중을 받아 물체가 구부러진 후에 그 하중이 사라지면서 다시 본래의 모양으로 되돌아가려는 성질을 말한다(Yazdanie & Mahood, 1985; Kim et al., 2014⁹). 본 연구에서 ST 집단은 3406.93 MPa 값으로 국제표준 기준치에 비해 약 1.7배 높게 나타났으며, MT 집단은 2567.57 MPa로 국제표준 기준치에 비해 약 1.3배로 높게 나타났다. ST 집단을 MT 집단과 비교하였을 때 탄성계수는 약 1.3배로 높았다.

두 집단 간의 상이한 결과 값을 분석하였을 때 유리

섬유 보강재의 형태와 두께로 인한 문제라고 생각된다. 망사형태의 유리섬유는 0.45 mm의 두께로 기성 제품으로 제작되었으며, 하악 유리섬유 보강재는 두께 조절이 가능하고 제조사가 권장하는 두께인 1 mm 이상으로 제작하였다. 본 연구에 사용한 유리섬유 보강재는 플라스틱 강화용 E-GLASS 타입의 종류이며, 약 17 μ m의 얇은 필라멘트를 여러 가닥으로 묶어 스틱형으로 제작하였다(Kim et al., 2018). 얇은 필라멘트 여러 가닥을 묶어 강도가 높아지는 경향이 있다. 본 연구에서도 망사형보다 스틱형이 부피가 크기 때문에 강도가 높아진 것으로 판단된다. 한편 Yu 등(2014)에 의하면 레진과 유리섬유의 함량에 따라서 강도가 차이가 있다고 하였다. 유리섬유 보강재의 두께가 너무 얇거나 두꺼우면 효과는 없으며, 유리섬유와 레진의 적절한 함량이 굴곡강도에 긍정적인 효과를 미친다고 하였다(Yu et al., 2014). 이러한 결과들을 참고하여 스틱형 유리섬유 보강재와 레진과의 함량에 따른 추가 연구가 필요하다고 사료된다. 또한 망사형 유리섬유는 가로 1 mm, 세로 1 mm의 촘촘한 격자식으로 이루어져 있다. 시압용 열중합 레진은 병상단계에서 주입함으로 젖음성이 낮기 때문에 촘촘한 격자 사이에 주입이 잘되지 않는 경우도 발생한다. 격자 사이의 공간을 채우지 못하여 굴곡강도에 영향이 미친것으로도 생각되며, 이러한 판단들은 추가 연구를 진행하여 증명이 필요하다.

금속보강재는 일반적으로 사용 빈도가 높다. 그러나 금속 보강재를 제작하기 위해서는 인상채득, 내화모형 제작, 기성 망사 왁스, 매몰, 금속 주조, 연마 순으로 제작하게 된다(Jeong, 1996). 이러한 복잡한 과정을 대처하기 위해서 금속 구조물 제작을 치과용 캐드캠 시스템을 활용하는 시도도 하고 있다(Choi et al., 2014). 금속 보강재 제작 시스템의 간소화에 도움이 되겠지만 근본적인 유리섬유 보강재의 장점을 대처하기에는 한계가 있다.

금속 보강재를 삽입한 레진의치는 기계적 결합만으로 유지한다. 두 재료는 물리적 특성이 다르기 때문에 낮은 호환성을 제기하고 있다. 또한 낮은 호환성으로 인해 저작 시 발생하는 외부 힘에 의해서 파절 빈도가 높게 나타난다고 하였다(Polyzois et al., 1996, Yu et

al., 2009). 반면에 유리섬유 보강재는 기계적 및 화학적으로 결합을 함으로써 결합력이 우수하며, 레진과 유리섬유의 적절한 탄성을 가지고 있어 파절 빈도는 낮은 것으로 사료된다.

유리섬유 보강재를 사용하지 않은 구강 내에서 레진 의치가 파절이 되었을 때 파절 파편들이 분산되어 위험을 초래할 수 있다. 그러나 유리섬유를 망사형을 사용하게 되면 파절 파편들을 최소화할 수 있는 특징이 존재한다(Kim et al., 2014^b). 한편 스틱형은 망사형에 비해서 파편을 최소화하는데 구조상 한계가 있다. 망사형은 스틱형에 비해 강도는 낮게 나타났지만 망사형 구조에서의 다양한 이점도 존재한다.

본 연구에 사용한 스틱형 유리섬유 보강재는 하악 전용이지만 1 mm 이상의 두께를 사용하였을 때 굴곡강도와 굴곡계수가 높았다. 상악 레진의치의 구개부위는 2~2.5 mm 이상의 두께로 제작하며, 저작 시 응력이 집중되는 부위에 스틱형 유리섬유 보강재를 적절하게 사용한다면 상악 레진의치도 사용이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구에서의 한계는 정규성 검정을 만족하였지만 적은 시편의 수를 사용하여 비모수 검정을 실시하였다. 또한 ISO 20795-1:2013으로 유리섬유 관련한 선행연구가 부족하였으며, 본 연구결과와 선행연구의 비교 분석도 한계가 있었다. 추후 연구에서는 Yu 등(2014)의 선행연구와 같이 스틱형 유리섬유와 레진의 함량에 따른 ISO 20795-1:2013 국제표준 규격에 맞는 굴곡강도, 굴곡계수, 물 흡수도 등의 비교 평가가 이루어져야 할 것이다.

V. 결론

의치상 파절을 방지하기 위한 망사형 및 스틱형 유리섬유 보강재를 의치상 레진에 삽입하여 굴곡강도와 굴곡계수를 비교평가를 진행하였으며, 다음과 같은 결론을 내렸다. 본 연구에서 보여준 결과로 미루어 볼 때 스틱형 유리섬유 보강재가 망사형 유리섬유 보강재 보다 굴곡강도 및 굴곡계수를 증가시켰으며 국제표준 기준

치도 충족하였다. 빈번하게 파절 현상이 나타나는 의치상 레진 부위에 스틱형 유리섬유 보강재 사용이 효과가 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Choi YJ, Koak JY, Heo SJ, Kim SK, Ahn JS, Park DS. Comparison of the mechanical properties and microstructures of fractured surface for Co-Cr alloy fabricated by conventional cast, 3-D printing laser-sintered and CAD/CAM milled techniques. *J Korean Acad Prosthodont*, 52, 67-73, 2014.
- Choudhary S. Complete denture fracture—a proposed classification system and its incidence in national capital region population: A survey. *J Indian Prosthodont Soc*, 19, 307-312, 2019.
- Hargreaves AS. The prevalence of fractured dentures. A survey. *Br Dent J*, 126, 451-455, 1969.
- Hari PA, Kalavathy, Mohammed HS. Effect of glass fiber and silane treated glass fiber reinforcement on impact strength of maxillary complete denture. *Ann Essence Dent*, 3, 7-12, 2011.
- International Standard. ISO 20795-1 for Dentistry-Base polymers-Part1: denture base polymers. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization: 2013.
- Jeong CM. A comparative study on the several metal reinforcement methods of maxillary complete acrylic resin denture base. *J Korean Acad Prosthodont*, 34, 363-372, 1996.
- Jin SE, Cho IH. The effect of glass fiber

- reinforcing materials and thermocycling on the transverse strength of denture base resin. *J Dent Rehab App Sci*, 29, 327–336, 2013.
- Kim CM, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Strengthening effect of resin denture base by glass fiber reinforcement addition. *J Korean Acad Dent Tech*, 36, 1–7, 2014^a.
- Kim DY, Jung Il-Do, Park JY, Kang SY, Kim JH, Kim WC. Accuracy evaluation of resin complete denture made with glass fiber mesh reinforcement before and after curing. *J Korean Acad Dent Tech*, 39, 25–33, 2017.
- Kim DY, Park JY, Bae SY, Kang HW, Kim JH, Kim WC. Evaluation of fitness according to application of glass fiber reinforcement for lower jaw complete denture. *J Korean Acad Dent Tech*, 40, 201–207, 2018.
- Kim JW, Kim HJ, Chung CH. Fabrication of complete denture with glass fiber framework. *Oral Biol Res*, 38, 112–117, 2014^b.
- Polyzois GL, Andreopoulos AG, Lagouvardos PE. Acrylic resin denture repair with adhesive resin and metal wires: effects on strength parameters. *J Prosthet Dent*, 75, 381–387, 1996.
- Takahashi Y, Yoshida K, Shimizu H. Effect of location of glass–fiber–reinforced composite reinforcement on the flexural properties of a maxillary complete denture in vitro. *Acta Odontol Scand*, 69, 215–221, 2011.
- Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R. Transverse strength and fatigue of denture acrylic–glass fiber composite. *Dent Mater*, 10, 116–121, 1994.
- Yazdanie N, Mahood M. Carbon fiber acrylic resin composite: An investigation of transverse strength. *J Prosthet Dent*, 54, 543–547, 1985.
- Yli-Urpo A, Lappalainen R, Huuskonen O. Frequency of damage to and need for repairs of removable dentures. *Proc Finn Dent Soc*, 81, 151–155, 1985.
- Yu SH, Kim YS, Choi UJ, Jun JN. Effect of reinforcement of glass fiber on auto and heat polymerized denture base resin. *J Korean Acad Dent Tech*, 31, 295–301, 2009.
- Yu SH, Oh SH, Bae JM. Reinforcing effect of glass fiber mesh with different content and structures on autopolymerized pour-type denture base resin. *Korean J Dent Mater*, 41, 59–65, 2014.