

# 열 순환 처리가 Gingival shade 복합레진의 기계적 특성에 미치는 영향

임용운, 황성식\*

단국대학교 치과대학 생체재료학연구실, 경동대학교 치기공학과\*

## Influence of mechanical properties with gingival shade composites resin according to the thermocycling treatment

Yong-Woon Im, Seong-Sig Hwang\*

Department of Biomaterials Science, College of Dentistry, Dankook University  
Department of Dental technology, Kyung-Dong University\*

### [Abstract]

**Purpose:** The objective of this study was to evaluate influence of mechanical properties of gingival shade composite resins(GSCRs) according to thermocycling treatment.

**Methods:** The material utilized in this study was Crea.lign(CGR), Twiny flow(TGF) and Twiny(TGP). Total sixty specimens were fabricated with a dimension of 25×2×2mm according to the ISO 4049. After fabrications, specimens of before and after thermocycling(to 55°C from 5°C) were stored in the distilled water for 24 hours at the 37°C. Three-point flexural test was performed in universal testing machine(Instron 5966, USA) at a crosshead speed of 1 mm/min. Flexural strength, flexural modulus and work of fracture according to the thermocycling were analyzed using a one-way ANOVA analysis. Surface analysis of GSCRs after thermocycling evaluated using the scanning electron microscope.

**Results:** The highest FS was measured in TGP group of NTC group and lowest in CGR group after TC. After TC, FS and FM decreased in CGR and TGP groups, but TGF increased. There was a statistically significant difference between FS and WOF in GSCRs( $p < 0.05$ ). But FM did not show any significant difference after TC ( $p > 0.05$ ). The strength of the characteristic exceeded the flexural strength required by ISO 4049( $> 80$  MPa). Weibull modulus( $m$ ) showed the highest reliability in the TGP group ( $m = 14.22$ ), and the reliability of the TGF and TGP groups after TC decreased.

**Conclusion:** Thermocycling treatment is important factor influence of mechanical properties with gingival shade composite resins. Therefore, we recommended that mechanical properties need to get useful information and accuracy for life-span expectancy according to the thermocycling treatment.

● **Key words:** Flexural strength, Gingival shade composite resin, Mechanical properties, Thermocycling, Weibull analysis

Corresponding author	Name	황 성 식	Tel.	033-631-0359	E-mail	sshwang@kduniv.ac.kr	
	Address	강원도 원주시 문막읍 견훤로 815(후용리, 경동대학교)					
Received	2017. 4. 29		Revised	2017. 6. 22		Accepted	2017. 6. 24

## I. 서론

의치상 레진에 잇몸 조직의 색과 유사한 심미성을 재현하는 다양한 방법들이 소개되어 상용되고 있다(Balchin, 1983; Ichiwata et al., 1984). 의치상 레진을 전입하는 단계에서 다양한 색조의 레진을 활용하여 잇몸의 심미성을 표현하는 Aesthetic color set easy system(Candulor dental GmbH, Wangen, Germany)을 이용하거나(Yim & Kim, 2014), 잇몸 혈관을 재현하기 위해 red fiber를 식립하고 레진을 중합하는 fit resin system 이 사용되고 있지만(Lee & Song, 2014), 복잡한 제작과정 때문에 널리 사용되는 데 한계점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 단조로운 PMMA 아크릴 의치상 레진의 핑크 칼라보다는 잇몸과 유사한 색조 개선을 위해서 의치상 레진의 치은 부위를 삭제한 후 gingival shade 복합레진(gingival shade composite resin, GSCR)을 축성(build-up)하여 광중합하는 방식의 제작법이 소개되어 임상에서 사용되고 있다(Haeberle & Khan, 1997; Park et al., 2016). GSCR은 조작이 간편하고, 환자에 적합한 치은 색조 재현의 장점을 가지고 있기 때문에 보다 더 심미적인 의치가 제작되어 환자의 만족도를 높일 수 있는 방법이다.

의치상 레진은 구강 내 작용하는 교합 응력과 착탈 시 부주의로 인한 빈번한 파절이 야기되어 왔다(Im et al., 2015). 따라서 의치의 표면에 결합하여 사용되는 GSCR 또한 파절에 대한 우수한 기계적 강도가 선행되어야 한다(Im & Hwang, 2015). 의치상 레진의 굽힘강도와 GSCR의 결합강도에 대한 선행 연구들이 보고되어 왔지만(Lee et al., 2010; Shimizu et al., 2011), 간접법으로 사용되는 GSCR의 열 순환에 따른 기계적 강도에 대한 연구는 미미한 실정이다.

기계적 특성 평가는 제작 과정에서 발생하는 재료의 결합 유무, 제작방법, 실험 환경 조건에 지배적으로 영향을 받는다. 특히 의치의 최종적인 기능은 구강 내에서 차갑고 뜨거운 음식물 등 외부적인 온도 요인에 의해 상당한 영향을 받으므로, 의치의 표면에 결합되어 사용되는 GSCR 또한 동일한 환경 조건에서의 기계적 특성에 대한 연구가 필요하다.

열 순환(thermocyclingn, TC) 처리과정은 재료의 열적 충격(thermal stress)을 가함으로써 재료의 수명예측을 위해 빈번하게 연구되어 왔으며(Gu et al., 2010; Jin & Cho, 2013), 일반적으로 의치상 레진의 강도는 감소한다(Park et al., 1999; Lee et al., 2001). 특히 구강 내 음식물의 의한 열적 충격은 의치상 재료의 성질과 표면 특성의 변화를 유발시키며, 재료 수명에도 중요한 영향을 미치는 요인이다(Barclay et al., 2005). Gu 등은 치과용 복합 레진의 열 순환 처리과정에 따른 기계적 특성을 평가하였으며, TC 처리가 강도에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다(Gu et al., 2010). 또한 Jin 과 Cho는 TC에 따른 의치상 레진의 굽힘 강도가 감소하였다고 하였다(Jin & Cho, 2013). 따라서 TC 처리에 의한 GSCR의 기계적 특성 평가가 반드시 선행되어야 보다 신뢰도 높은 평가가 가능할 것이다.

취성 재료의 특성을 갖는 재료들의 신뢰도 평가는 Weibull 분석을 통해 평가되어 왔다(Im & Hwang, 2015). 신뢰도 평가는 GSCR의 선택 및 사용에 있어서 매우 중요한 정보로써 TC 처리 과정을 통한 신뢰도 정보가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 PMMA 아크릴 의치상 레진 표면을 삭제하고 GSCR을 다색축성으로 결합하여 환자 개인의 잇몸과 유사한 심미성을 재현하는 최신 경향의 제작방법에 의한 재료의 강도와 TC 처리 과정이 굽힘강도, 굽힘 탄성계수, 파절에너지 등 기계적 굽힘 특성에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며, 표면 특성 변화에 따른 와이블 분석을 통한 신뢰도를 분석하여 임상 적용 시 유용한 정보를 얻고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구에서는 아크릴 의치상 레진을 삭제 후 색조 개선을 위해 사용되는 3종의 GSCR을 선택하여 사용하였으며, 제조사 및 제품의 특성들은 Table 1에 나타내었다(Table 1).

Table 1. Gingival shade composite resins used in this study

Products	Code	Shade	Manufacturer	country	Type	lot. Number
Crea.lign Gum Rosa	CGR	Pink	Bredent	Germany	Flow	133506A
Twiny Gum Flow	TGF	G1	Yamakin	Japan	Flow	01101210
Twiny Gum Paste	TGP	G1	Yamakin	Japan	Paste	01101210

## 2. 시편 제작

3종의 GSCR(n=10)을 이용하여 국제표준규격 ISO 4049에 따라 길이 25 mm, 폭 2 mm, 두께 2 mm 의 3 점 굽힘 강도 측정용 막대시편을 제작하였다. TC를 시행하지 않은 군(non-thermocycling, NTC)과 열 순환(thermocycling, TC)을 5,000번 시행한 군으로 분류하였다. 시편제작을 위해서 celluloid strip 위에 금속 규격 몰드를 올려 놓고 GSCR을 전입 하였다. 전입 후 celluloid strip 을 표면에 덮은 후 공기 층에 의한 기포가 생기지 않도록 하였으며, LED 광증합기(Litex 695, Dentamerica, Taiwan)를 이용하여 1400 mW/cm<sup>2</sup> 의 빛의 세기로 양면을 각각 광증합하였다. 이때 균일한 중합이 이루어지도록 광유도기(light guide)를 사용하였으며, 한번에 10초씩 양면을 총 14번 광증합 하였다. 몰드에서 제거된 시편의 잉여 부분의 경우 SiC 800 grit로 연마하였다. 제작된 시편은 37℃ 의 증류수에서 24시간 보관한 후 1.0 mm/min 의 하중속도로 만능 재료 시험기(Instron 5966, MA, USA)를 이용하여 측정하였다.

## 3. 열 순환(thermocycling) 처리

잇몸 조직과 유사한 심미성 재현을 위해 사용되는 GSCR을 ISO 4049 에 따라 시편을 제작하여 5℃ 와 55℃ 의 온도 변환이 가능한 열 순환 기계장치 (Thermocycling machine, Tokyo Giken, Japan)를 이용하여 5,000회를 시행하였다(Janda et al., 2006). 이때 수 중 침적시간 및 중간 계류시간은 각각 30초로 하였으며, 시편들은 37℃ 의 증류수에서 24시간 보관 후 만능 재료 시험기(Instron 5966, Instron Corp. USA) 를 이용하여 1.0 mm/min의 하중 속도로 측정하였다.

## 4. 굽힘 강도 측정

열 순환 처리 전 · 후 굽힘 강도 data를 이용하여 다음의 공식을 적용하여 굽힘강도와 굽힘 탄성계수, 파절에너지를 산출하였다.

$$(1) \sigma = 3PL / 2bd^2$$

$$(2) E = L^3m / 4bd^3$$

$$(3) WOF_f = U / (bd)$$

여기서  $\sigma$ 는 굽힘강도(MPa), E는 탄성계수(GPa), P는 flexural load (N), L은 length of support span (mm), b는 width of specimen (mm), d는 height of specimen (mm), m은 slope of the modulus line (N/mm), U는 total energy (kJ/mm<sup>2</sup>) 이다.

## 5. 와이블(Weibull) 분석

TC 처리 유무에 따른 재료의 신뢰성을 비교하기 위하여 2-변수 와이블(2-parameters Weibull)분석을 실시하였다. 각 시편의 데이터 값을 아래의 식에 대입하여 와이블 계수(m)를 구하여 비교하였다.

$$P_f = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^m \right]$$

$$P_f = \frac{i - 0.5}{N}$$

여기서 i는 재료의 순차, N은 시편의 개수,  $f$ 는 (강도 값)에 대한 scale parameter이다. m은 와이블 계수

Table 2. Results of flexural strength, Weibull modulus(m), and characteristic strength according to TC

Thermocycling	Materials	r <sup>2</sup>	m	FS (MPa)	σ <sub>0</sub>
NTC	CGR	0.74	6.09	103.62	103.97
	TGF	0.90	9.03	78.45	82.76
	TGP	0.83	14.22	135.70	140.65
TC	CGR	0.88	6.47	22.2	23.83
	TGF	0.85	6.74	91.91	96.72
	TGP	0.96	9.45	112.99	121.06

(modulus)로  $\ln\ln[1/(1-Pf)]$ 과  $\ln(\sigma)$ 의 선형회귀 관계 직선 그래프 식( $y=mx+b$ )에서 기울기를 말한다.

### 6. 통계처리

TC 처리 전·후 GSCR의 강도 data를 이용하여 재료에 따른 굽힘 특성간의 통계처리는 IBM SPSS(SPSS v.20.0, SPSS INC, USA)을 이용하여 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)를 실시하였다. 이 때 유의수준은  $p < 0.05$ 로 하였다.

### 7. 표면 관찰

TC 처리과정 후 강도 변화의 원인을 분석하기 위해서 시편의 표면을 주사전자현미경(S-3000H, Hitachi, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

## III. 결과

TC 처리에 따른 GSCR의 굽힘강도, 굽힘 탄성계수, 파절에너지 등의 기계적 특성 평가 결과는 Fig. 1-3에 나타내었다. 본 연구에서 굽힘강도는 NTC 그룹의 TGP 군에서 135.7 MPa으로 가장 높았으며, TC 그룹에서 CGR군이 22.2 MPa으로 가장 낮은 강도를 보였다(Fig 1). 또한 TC 후 CGR군과 TGP군의 굽힘강도와 굽힘탄성계수는 감소하였으나, TGF군은 오히려 강도가 증가하였다. 굽힘 탄성계수는 TGP군에서 가장 높았으며,

TC 시행 후 CGR 군에서 매우 낮은 탄성계수를 나타냈다(Fig 2). 그리고 파절에너지는 TGF군에서 가장 높았으며, TC 후 모든 재료에서 감소하였다(Fig 3). TC 처리 전·후 굽힘강도와 파절에너지는 통계적으로 유의한 차이를 보였으며( $p < 0.05$ ), 굽힘 탄성계수는 유의한 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ) (Table 3).

와이블 분석에서 특성강도는 ISO 4049에서 요구하는 강도보다 상회하였으나( $> 80$  MPa) CGR군에서는 23.83 MPa으로 매우 낮았다. 와이블계수(m)는 TGP군에서 가장 높았으며, TC를 시행한 후 TGF와 TGP군에서는 모두 감소했으나, CGR군에서는 약간 높았다(Fig. 4, 5). 또한 와이블 분석에서 강도와 특성강도 간의 높은 상관성을 보였다( $r^2 > 0.74$ ) (Table 2).

TC 후 시편의 표면을 관찰한 결과 CGR군에서 표면의 중요한 표면결함(cracks)이 관찰되었으나, TGP군에서는 표면 변화가 관찰되지 않았다(Fig. 6).

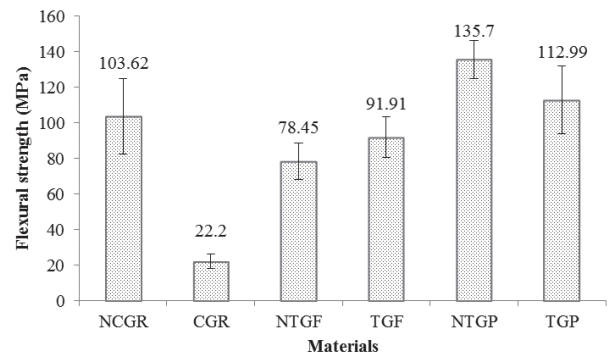


Figure 1. Flexural strength of GSCRs according to the thermocycling.

Table 3. Results of One-way ANOVA statistic between thermocycling and non-thermocycling

	Sum of squares	df	Mean square	F	p
Flexural strength					
Between groups	11140.790	1	11140.790	9.333	.003
Within groups	69234.332	58	1193.695		
Total	80375.122	59			
Flexural modulus					
Between groups	2.484	1	2.484	.277	.601
Within groups	520.652	58	8.977		
Total	523.136	59			
Work of fracture					
Between groups	31.077	1	31.077	25.171	.000
Within groups	71.610	58	1.235		
Total	102.687	59			

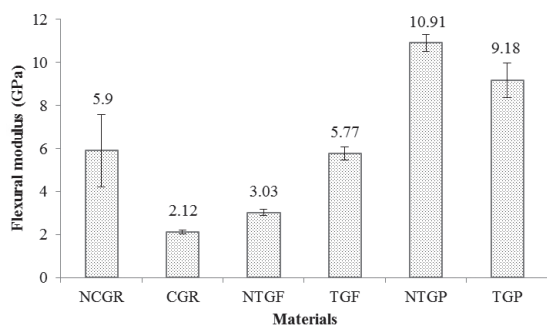


Figure 2. Flexural modulus of GSCRs according to the thermocycling.

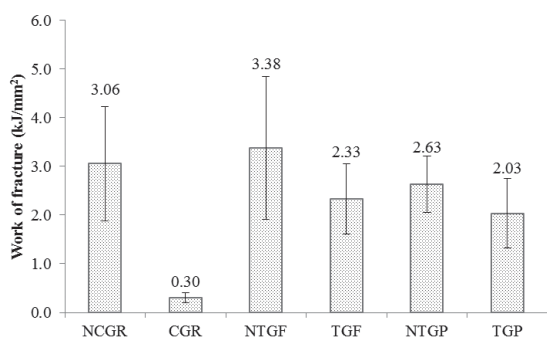


Figure 3. Work of fracture of GSCRs according to the thermocycling.

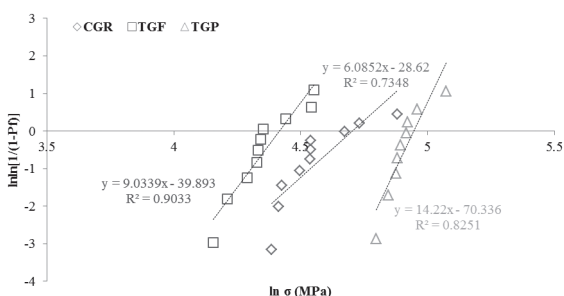


Figure 4. Non-thermocycling(NTC) Weibull analysis.

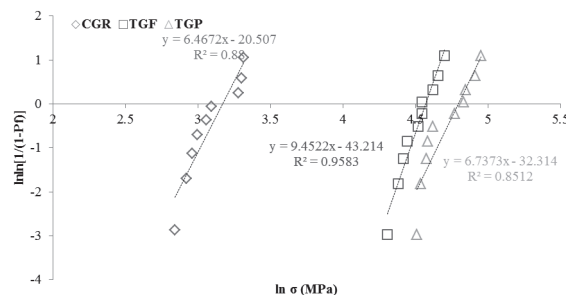


Figure 5. Weibull analysis after thermocycling (TC).

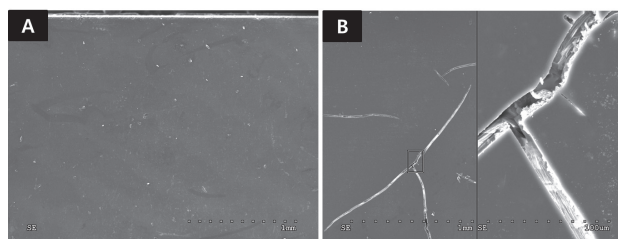


Figure 6. Surface analysis of GSCRs after thermocycling treatment (x45). A;TGP group, B;CGR group.

#### IV. 고찰

아크릴 의치상 레진은 의치 환자의 증가와 더불어 파절에 대한 높은 물리적, 기계적 특성뿐만 아니라 심미적 만족감을 주기 위한 다양한 방법들이 시도되어 왔다(Balchin, 1983; Ichiwata 등, 1984; Yim & Kim, 2014). 그러나 복잡하고 어려운 제작방법 때문에 사용에 제한적이다. 따라서 복잡한 과정과 고 숙련자에 의

한 한정적인 색조개선보다는 간단하면서도 환자 잇몸과 유사한 색조를 얻기 위한 GSCR을 이용한 맞춤형 의치(individualized dentures)가 제작되고 있다(Park et al., 2016). 성공적인 심미성 재현을 위해 의치 표면에 다색 축성하는 GSCR의 개발은 기존의 아크릴 의치상 레진과 동일한 기계적/물리적 특성을 만족시키는 것이 선행되어야 한다. 3점 굽힘 강도(3-point flexural strength)는 재료들의 파절이 응력 직하방부에서 좌우의 인장 응력의 작용으로 발생되기 때문에 복합레진의 강도 측정을 위해 ISO 4049에 따라 빈번하게 평가해왔으며, 매우 중요하다(Rodrigues 등, 2008; ISO 4049, 2000; Jun 등, 2013).

구강 내 사용되는 복합레진의 기계적 특성은 시편의 크기, 필러 함량, 구강 환경 조건에 영향을 받는다(Rodrigues 등, 2008; Jun 등, 2012). 특히 Gu 등에 따르면, 열 순환 처리에 따른 재료의 기계적 특성 분석은 임상적 data의 신뢰도를 높일 수 있으며, 수명예측을 위해서 매우 중요하다고 하였다(Gu et al., 2010). 열 순환 처리 과정은 구강 내 환경과 유사한 조건을 고려하여 5℃에서 55℃로 온도 변화를 주어 재료의 열적 충격을 가함으로써 재료의 표면 및 기계적 특성 변화를 평가하여 임상적 수명을 예측할 수 유용한 방법이다(Jin & Cho, 2013). Gale과 Darvell는 10,000번의 TC는 임상적으로 1년의 기간과 비슷하다고 하였으며, Yap 등은 5,000번은 6개월의 기간과 비슷하다고 하였다(Gale & Darvell, 1999; Yap 등, 2004). 본 연구에서는 5,000회의 TC를 시행하였다. 본 연구 결과 굽힘 특성강도는 치과용 복합레진에서 요구되는 ISO 4049의 강도보다 상회하였으며(>80 MPa), TGP군에서 TC 처리 전·후 112~135 MPa 으로 가장 높은 강도를 보였다(Table 2). TGP 군은 paste type의 레진으로 치과용 복합레진의 flowable type 레진보다 상대적으로 높은 필러 함량 때문에 높은 강도를 보인 것으로 사료되며(Ilie & Hickel, 2009; Hadis 등, 2011), Jun 등은 필러 함량과 굽힘 특성은 높은 상관성을 보인다고 하였다(Jun 등, 2013; Lee 등, 2013). 하지만 TC 처리 후 재료에 내재된 결함의 정보를 통해 신뢰도를 평가하는 와이블 계수 가장 큰 폭으로 감소하였다. 이는 paste type의 GSCR은 점조

도가 낮아 조작이 어렵기 때문에 시편 제작과정에서 동반되는 내부 기포 등과 같은 결함으로 신뢰도에 영향을 미쳤다고 생각된다(Zeng & Odén, 1996; Della Bona & Anusavice, 2003).

TC처리 후 CGR 군에서 매우 낮은 굽힘강도와 탄성계수를 보였다. TC 처리 후 주사전자현미경을 통한 표면 분석에서 표면 결함인 크랙(cracks)들이 관찰되었으며(Fig 6. B), 이는 온도 변화에 의한 수축과 팽창과정에서 발생한 것으로 생각된다. Gu 등에 따르면, 치과용 복합레진은 구강 내 타액 및 수분에 의해 가소분해가 일어나면서 강도의 감소가 나타난다고 하였다(Gu 등, 2010). 그리고 Göhring 등은 레진 기질과 필러 사이의 열팽창 계수 차이로 인한 내부 응력 때문에 발생되었다고 하였다(Göhring et al, 2005). 하지만 Im과 Hwang에 따르면, 직접적인 응력에 영향을 미치지 않는 순·협면에 적용하기 때문에 임상 사용에 문제가 없다고 하였다(Im & Hwang, 2015). 그러나 충격 및 외력에 의한 파절에는 주의를 기울여야 한다. 반면에 TC 처리 후 TGF군에서는 오히려 굽힘 강도와 탄성계수는 증가하였다(Fig. 3, 4). 이는 TC 처리 후 강도가 감소하는 치과용 복합레진의 경향과 상반된 결과로써 심미 재현을 위해 적용하는 GSCR에서 다른 양상을 보이는 것으로 생각되며 flow type인 CGR군과 TGF군에서 상호 상반된 결과에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

굽힘탄성계수는 TGP군에서 가장 높았으며, TC 시행 후 CGR군에서 매우 낮은 값을 보였다. 그리고 파절에너지는 TGF군에서 가장 높았으며, TC 후 모든 재료에서 감소하였다. 특히 TC 처리 후 기계적 특성은 CGR군에서 가장 큰 변화가 관찰 되었다. 이는 TC 처리 후 온도 변화에 대한 급격한 표면 변화가 동반되었기 때문일 것으로 생각하지만, 심층적인 분석이 더 필요할 것으로 사료된다. TC 처리 후 GSCR의 굽힘강도와 파절에너지는 통계적으로 유의한 차이를 보였으며( $p < 0.05$ ), 굽힘탄성계수는 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 3).

일반적으로 취성 재료의 신뢰도를 평가하기 위해 사용되는 와이블 계수는 높을수록 신뢰도가 높다(Della Bona 등, 2003). 본 연구에서 와이블계수는 TGP군에

서 14.22로 가장 높았으며, TC 처리 후 TGF와 TGP군에서 신뢰도는 모두 감소했지만(Fig. 4, 5), 굽힘 강도의 변화의 폭이 가장 큰 CGR군에서 와이블 계수에는 변화가 없었다(6.09→6.47). 이는 CGR 군은 다른 군에 비하여 신뢰도는 낮았지만, TC 처리 후 신뢰도의 변화에는 영향을 미치지 않은 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 의치상 레진과 동일한 강도의 GSCR 복합레진으로 파절에 대한 저항성이 우수한 재료의 사용이 적극적으로 추천되지만, 열적 변화에 의한 표면 결합 및 재료의 강도 감소, 그리고 신뢰도를 고려해야 할 것으로 사료된다. 또한 열 순환 처리 후 아크릴 의치상 레진과의 표면 비커스 경도 변화에 대한 비교 평가가 필요할 것으로 생각된다.

## V. 결론

본 연구에서는 TC 처리 후 의치의 심미성 재현을 위해 사용되는 GSCR의 기계적 굽힘 특성 변화에 미치는 영향을 평가하기 위해서 굽힘강도, 굽힘 탄성계수, 파절에너지 등을 측정하고, 와이블 분석을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 필러 함량과 상관성이 높은 굽힘강도와 굽힘탄성계수는 flow type의 CGR군에서 크게 감소하였지만, 취성 재료의 신뢰도를 평가하는 와이블 계수는 증가하였다.
2. Flow type의 TGF군은 TC 처리 후 굽힘강도와 굽힘탄성계수는 오히려 증가하였지만, 신뢰도는 감소하였다.
3. TGP군의 강도는 가장 높았지만, 재료의 결합의 정보와 함께 나타내는 와이블 계수는 가장 많이 감소하였다.
4. 따라서 TC 처리는 GSCR의 굽힘 거동에 영향을 미치므로 신뢰도를 고려한 종합적인 수명예측이 필요할 것이다.

## REFERENCES

- Barclay CW, Spence D, Laird WRE. Intra-oral temperatures during function. *J Oral Rehabil*, 32, 886-94, 2005.
- Della Bona A, Anusavice KJ, DeHoff PH. Weibull analysis and flexural strength of hot-pressed core and veneered ceramic structure. *Dent Mater*, 19, 662-669, 2003.
- Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent*, 27(2), 88-99, 1999.
- Gu HJ, Jun SK, Kim DA, Kim HW, Lee HH. Effect of thermocycling on the mechanical properties of resin composites. *J Korea research Dent Mater*, 35(2), 155-164, 2008.
- Göhring TN, Gallo L, Lüthy H. Effect of water storage, thermocycling, the incorporation and site of placement of glass-fibers on the flexural strength of veneering composite. *Dent Mater*, 21, 761-772, 2005.
- Hadis M, Leprince JG, Shortall AC, Devaux J, Leloup G, Palin WM. High irradiance curing and anomalies of exposure reciprocity law in resin based materials. *J Dent*, 39, 549-557, 2011.
- Haeberle CB, Khan Z. Construction of a custom-shade interim denture using visible-light-cured resin. *J Kor Adv Prosthodont*, 6, 153-156, 1997.
- Ichiwata T, Ueda K, Takeda T, et al., Research into the colors of denture base resin-influence of differences in shade and thickness. *J Nihon Univ Sch Dent*, 26, 30-38, 1984.

- ISO 4049: Dentistry-polymer-based filling, restorative and luting materials. International organization for standardization, Geneva, Switzerland, 15-17, 2000.
- Ilie N, Hickel R. Investigations on mechanical behaviour of dental composites. Clin Oral Investig, 13, 427-438, 2009.
- Im YW, Hwang SS. Evaluation of flexural Properties of indirect gum-shade composite resin for esthetic improvement. J Dent Hyg Sci, 15(4), 407-412, 2015.
- Im YW, Jun SK, Kim SC, Kim DA, Kim GR, Kim NS, Lee HH. Standardized test methods for mechanical properties of dental prosthetic/restorative materials and their applications. Kor J Dent Mater, 42(3), 259-270, 2015.
- Janda R, Roulet JF, Latta M. The effects of thermocycling on the flexural strength and flexural modulus of modern resin-based filling materials. Dent Mater, 22(12), 1103-1108, 2006.
- Jin SE, Cho IH. The effect of glass fiber reinforcing materials and thermocycling on the transverse strength of denture base resin. J Dent Rehabil Appl Sci, 29(4), 327-336, 2013.
- Jun SK, Kim DA, Goo HJ, Lee HH. Investigation of the correlation between the different mechanical properties of resin composites. Dent Mater J, 32, 48-57, 2013.
- Lee DS, Lim HS, Lim JH, Cho IH. A study on the effect of thermocycling to the physical properties of denture liners. J Kor Acad Prosthodont, 39, 556-575, 2001
- Lee DU, Song DB. All of aesthetics denture. Well, 256-262, 2014.
- Lee HH, Lee CJ, Aaoka K. Correlation in the mechanical properties of acrylic denture base resins. Dent Mat J, 31(1), 157-164, 2012.
- Lee JH, Kim S, Jeong TS, Kwon YH. Effect of filler type on microhardness and flexural properties of flowable resins. Kor J Dent Mater, 40(4), 316-320, 2013.
- Park BW, Kim NJ, Lee JH, Lee HH. Technique for fabricating individualized dentures with a gingiva-shade composite resin. J Prosthet Dent, 115(5), 547-550, 2016.
- Park SH, Lim HS, Cho IH. On the fracture strength of the repaired resin according to the type of denture base resin, the type of reinforcing material and thermocycling. J Den Rehabi Appl Sci, 15, 27-37, 1999.
- Rodrigues SA Jr, Ferracane JL, Della Bona A. Flexural strength and Weibull analysis of a microhybrid and a nanofill composite evaluated by 3- and 4-point bending tests. Dent Mater, 24, 426-431, 2008.
- Shimizu H, Kawaguchi T, Mutobe H, Kiyokuni Y, Takahashi K, and Takahashi Y. Bonding of a gingival shade composite to a denture base resin using a chemically activated 4-meta resin. Eur J Prosthodont Restor Dent, 19(1), 7-10, 2011.
- Yap AUJ, Wang X, Wu X, Chung SM. Comparative hardness and modulus of tooth-colored restoratives: a depth-sensing microindentation study. Biomaterials, 25(11), 2179-2185, 2004.
- Yim SH, Kim JH. Esthetically improved complete



denture by gingival shade alteration: a case report, *J Kor Acad Prosthodont*, 52, 239–245, 2014.

Zeng K, Odén A, Rowcliffe D. Flexure tests on dental ceramics. *Int J Prosthodont* 9, 434–439, 1996.