

Original Article

Int J Oral Biol 46:184-189, 2021
 pISSN: 1226-7155 • eISSN: 2287-6618
<https://doi.org/10.11620/IJOB.2021.46.4.184>

Effect of tack cure time on polymerization shrinkage of dual-cure resin cement

Yoorina Choi¹, Yu-Keong Heo², Ji-Hye Jung³, and Hoon-Sang Chang^{2*}

¹Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan 54538, Republic of Korea

²Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

³Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan 54538, Republic of Korea

When luting indirect restorations with dual-cure resin cement (DCRC), excess cement can be easily removed by performing tack cure of DCRC for a few seconds. The purpose of this study was to evaluate whether different tack cure times affect polymerization shrinkage (PS) of the selected DCRC. One dual-cure resin cement (G-CEM LinkAce, GC) was used for measuring PS in light-cure (LC group), self-cure (SC group), and two tack-cure modes. In the first tack-cure subgroup, tack cure was performed for 1, 2, 3, and 5 seconds, followed by light cure after 2 minutes of remnant removal time in each case (TC-LC groups). In the other tack-cure subgroup, tack cure was performed for the same lengths of time, but followed by self-cure in each case (TC-SC groups). PS was measured by a modified bonded disc method for 1,800 seconds. One-way analysis of variance followed by Duncan's post hoc test was used to determine any statistically significant differences among the test groups ($\alpha = 0.05$). When the DCRC was self-cured after tack cure, PS was significantly lower than when it was only self-cured ($p < 0.05$); however, tack cure time did not affect PS ($p > 0.05$). When the DCRC was light-cured, PS was not affected by tack cure or tack cure time ($p > 0.05$). Therefore, tack cure within 5 seconds did not negatively affect the final PS when the DCRC was light-cured after cement remnant removal.

Keywords: Polymerization, Resin cements


Introduction

심미성이 우수한 세라믹 간접수복물을 레진시멘트로 접착시킬 경우 수복물 변연에 있는 시멘트 잔사를 제거하는 과정은 번거로운 과정이 아닐 수 없다[1]. 자가중합형 레진시멘트를 사용하거나 이중중합형 레진시멘트를 자가중합시킬 경우 최소 1분에서 최대 5분 이상 기다려야 잔사 제거가 가능하기 때문에 시간이 많이 소요되며[2], 레진시멘트의 중합이 많이 진행된 경우에는 시멘트 잔사를 완전히 제거하는 것이 불가능하여 수복물 하방의 치조골 소실을 야기하기도 한다[3]. 광중합형 또는 이중중합형 레진시멘트를 사용할 경우 시멘트 잔사 제거 시간을 절약하기 위해 tack cure 방법을 사용하는데 이는 간접수복물의 변연에

있는 시멘트 잔사를 짧은 시간 동안 광중합하여 레진시멘트를 제거하기 쉬운 상태로 중합하는 방법이다[4,5]. 시멘트 잔사를 제거한 후에는 제조사 지시에 따라 광중합 또는 자가중합하여 레진시멘트를 완전히 중합시킨다.

이러한 과정에서 레진시멘트는 짧은 시간 동안의 광중합인 tack cure와 시멘트 잔사 제거 동안의 자가중합, 그 이후의 최종 광중합 등의 복잡한 중합 과정을 거치게 되는데 이중중합형 레진시멘트의 경우 광중합으로 중합이 개시되거나 자가중합으로 중합이 개시될 때 모두 자유 라디칼을 형성하여 중합이 진행되기 때문에 두 과정이 서로에게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[6]. 이중중합형 레진을 즉시 광중합시킬 경우 광범위한 교차결합의 형성으로 미반응 단량체의 이동이 제한되어 자

Received November 30, 2021; Accepted December 3, 2021

*Correspondence to: Hoon-Sang Chang, E-mail: conden@jnu.ac.kr  <https://orcid.org/0000-0002-3019-1528>

Copyright © The Korean Academy of Oral Biology

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가중합이 방해받기 때문에 광중합을 일정 시간 동안 지연시켜 자가중합으로 초기 중합을 허용한 후에 광중합시켜야 높은 중합률을 얻을 수 있다는 연구들이 이를 뒷받침한다[7,8].

또한, Chen 등[9]은 이중중합형 레진시멘트의 중합률을 측정된 연구에서 3초 tack cure 후 자가중합했을 때가 자가중합만 시행했을 때보다 중합률이 높거나 유사하게 측정되었던 반면 40초 광중합했을 때보다는 낮거나 유사하게 측정되었다고 보고하였다. Flury 등[10]은 세라믹 디스크를 투과하여 이중중합형 레진시멘트를 5초 tack cure 후 1분의 시멘트 잔사 제거 시간을 갖고 40초 광중합하는 것이 표면미세경도에 부정적인 영향을 미치지 않았다고 보고하였으며, Stegall 등[1]의 연구에 의하면 이중중합형 레진시멘트를 제조사의 지시에 따라 2-5초 동안 tack cure한 후 2분의 시멘트 잔사 제거 시간을 갖고 10-40초 광중합하는 것이 표면미세경도에는 유의한 영향을 미치지 않았으나 중합깊이를 유의하게 증가시켰다고 보고하였다. Kim 등[5]은 이중중합형 레진시멘트를 제조사의 지시에 따라 tack cure한 후 2분의 시멘트 잔사 제거 시간을 가진 후에는 20초 광중합하는 것을 추천하는 등 tack cure에 대한 연구결과는 다양하게 보고되었다. 이는 이중중합형 레진시멘트마다 제조사에서 권장하는 tack cure 시간이 1-5초 사이로 다양하고 광중합에 사용되는 광중합기의 조도 또한 다양하기 때문이다. 따라서 잔사 제거가 용이한 semi-gel 상태의 시멘트를 얻기 위해서는 술자가 tack cure 시간을 경험적으로 터득해야 할 것으로 보인다. 따라서 이 논문의 목적은 이중중합형 레진시멘트의 tack cure 시간이 이중중합형 레진시멘트의 중합수축에 미치는 영향에 대해 조사하는 것이다. 귀무가설은 'tack cure 시간이 이중중합형 레진시멘트의 중합수축에 영향을 미치지 않는다'로 설정하였다.

Materials and Methods

이중중합형 레진시멘트 중에서 자가중합 또는 광중합했을 때 중합수축에서 유의차가 없는 제품(G-CEM LinkAce, A2; GC, Tokyo, Japan)을 선택한 후(Table 1) 중합 방법에 따라 광중합한 군(LC), 자가중합한 군(SC), 그리고 각각 1, 2, 3, 5초 tack cure한 후 광중합한 군(TC-LC) 또는 자가중합한 군(TC-SC) 등 총 10개 군으로 나누어서 실험을 진행하였다(n = 7, Table 2).

시편 제작을 위해 슬라이드글라스(Paul Marienfeld, Lauda-Königshofen, Germany) 위에 두께 3 mm, 직경 2.44 mm의 구멍이 있는 스테인리스 스틸 몰드를 올려 놓은 후 구멍 내에 레진시멘트를 채워 부피가 14 mm³가 되도록 계량하였다. 몰드를 제거한 후 레진시멘트를

중심으로 0.5 mm 두께의 고정용 금속 와이어 2개를 약 20 mm 간격으로 위치시킨 후 가로 18 mm, 세로 18 mm 크기의 커버글라스를 와이어의 대각선 방향으로 덮고 또 다른 슬라이드글라스로 위에서 압력을 가하여 직경 6 mm, 두께 0.5 mm의 시편을 준비하였다. 시편의 중합수축은 modified bonded-disc method를 이용하여 1,800초 동안 측정하였다. 측정 개시 후 20초 동안의 데이터는 일관성을 확인하기 위해 baseline 데이터로 이용하였다[11]. 실험은 26°C의 실온에서 행해졌으며 중합수축은 10 data points/sec의 속도로 측정되었다.

광중합에 의한 레진시편의 중합수축을 측정하기 위하여 준비된 레진시편을 중합수축 측정기기(u-Biomechanics; IB Systems, Seoul, Korea)의 수평 금속판 위에 위치시키고 linear variable differential transformer (LVDT) 탐침을 레진시편을 덮고 있는 커버글라스의 중앙에 위치시킨 후 중합수축 측정을 시작하였다. 20초 동안의 baseline 데이터를 얻은 후 시편의 하방에서 측정기기의 수평 금속판에 내장된 파란색 light emitting diode 광원(직경 9 mm, 조도 500 mW/cm²)을 이용하여 20초 동안 광중합을 시행하였다. 자가중합에 의한 레진시편의 중합수축을 측정하기 위해 레진시편을 위와 동일한 방법으로 광중합 없이 진행하였다. Tack cure에 의한 레진시편의 중합수축을 측정하기 위해 레진시편을 위와 동일한 방법으로 세팅한 후 TC-SC군에서는 기기에 내장된 광원을 이용하여 레진시편을 각각 1초, 2초, 3초, 5초 동안 광중합시킨 후 자가중합을 시켰고, TC-LC군에서는 tack cure 후 임상 상황에서의 시멘트 잔사를 제거할 시간을 재현하기 위해 2분 동안 기다린 후 20초간 광중합시켰다. 이후, 중합된 레진시편을 슬라이드글라스와 커버글라스에서 분리한 후 레진시편의 두께를 디지털 마이크로미터

Table 2. Experimental groups in this study

Experimental group	Experimental condition
LC	20 s light cure
SC	Self cure
1s TC-LC	1 s tack cure + 20 s light cure
1s TC-SC	1 s tack cure + self cure
2s TC-LC	2 s tack cure + 20 s light cure
2s TC-SC	2 s tack cure + self cure
3s TC-LC	3 s tack cure + 20 s light cure
3s TC-SC	3 s tack cure + self cure
5s TC-LC	5 s tack cure + 20 s light cure
5s TC-SC	5 s tack cure + self cure

Table 1. Dual-cure resin cement used in this study

Product (manufacturer)	Cement type	Composition	Tack cure time (s)	Light cure time (s)
G-CEM LinkAce, A2 (GC, Tokyo, Japan)	Dual-cure self-adhesive resin cement	Paste A: Fluoro-alumino-silicate glass, UDMA, dimethacrylate, silicon dioxide, initiator, inhibitor Paste B: Silicon dioxide, UDMA, dimethacrylate, initiator, inhibitor Filler content: 55.3 wt%	1	20

UDMA, urethane dimethacrylate.

(Electronic Spline Micrometer #331-261; Mitutoyo, Kawasaki, Japan)로 측정된 후 측정된 중합수축 데이터를 이용하여 레진시편의 중합수축을 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Axial polymerization shrinkage (\%)} = \frac{\Delta h}{(h + \Delta h)} \times 100\%$$

h = 중합된 레진시편의 두께, Δh = LVDT에 의하여 측정된 수축량

레진시편의 중합수축 속도는 노이즈 감쇠를 위해 0.2초당 중합수축의 변화율을 이용하여 계산한 후 도표화시켰다. 중합 방법에 따른 레진시멘트의 중합수축은 유의수준 0.05에서 one-way analysis of vari-

ance (SPSS ver. 25; IBM Corp., Armonk, NY, USA)로 통계 분석하였으며, Duncan's post hoc test로 사후검정하였다(α = 0.05).

Results

이중중합형 레진시멘트를 광중합, 자가중합 및 tack cure 후 광중합 또는 자가중합을 했을 때의 중합수축은 Table 3에 나타내었다. Tack cure 후 자가중합을 했을 때는 자가중합만 시행한 경우에 비해 중합수축이 유의하게 낮았으나(p < 0.05) tack cure 시간은 중합수축에 영향을 미치지 않았다(p > 0.05). 그러나 광중합을 시행했을 때는 tack

Table 3. Mean polymerization shrinkage (% ± SD) with different tack cure time at 1,800 seconds

Tack cure time	0 s	1 s	2 s	3 s	5 s
Light cure	4.32 ± 0.08 ^A	4.27 ± 0.15 ^A	4.29 ± 0.19 ^A	4.43 ± 0.07 ^A	4.34 ± 0.10 ^A
Self cure	4.41 ± 0.12 ^A	4.24 ± 0.15 ^B	4.19 ± 0.14 ^B	4.25 ± 0.11 ^B	4.26 ± 0.11 ^B

Mean values followed by different letters (row) are significantly different by Duncan's test (p < 0.05). SD, standard deviation.

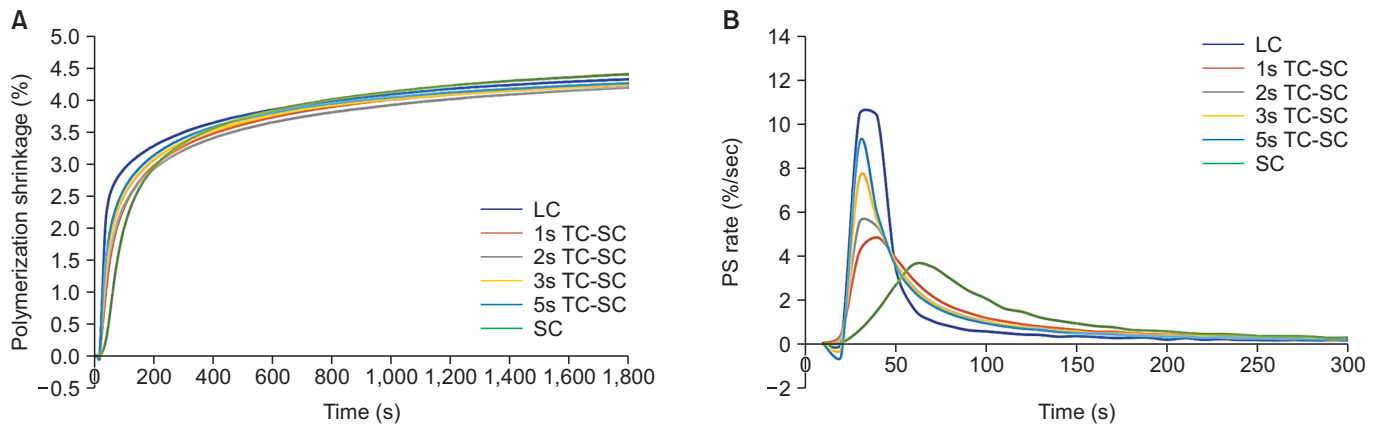


Fig. 1. Polymerization shrinkage (A) and polymerization shrinkage (PS) rate (B) of a dual-cure resin cement in light cure (LC), tack cure-self cure (TC-SC), and self cure (SC) modes.

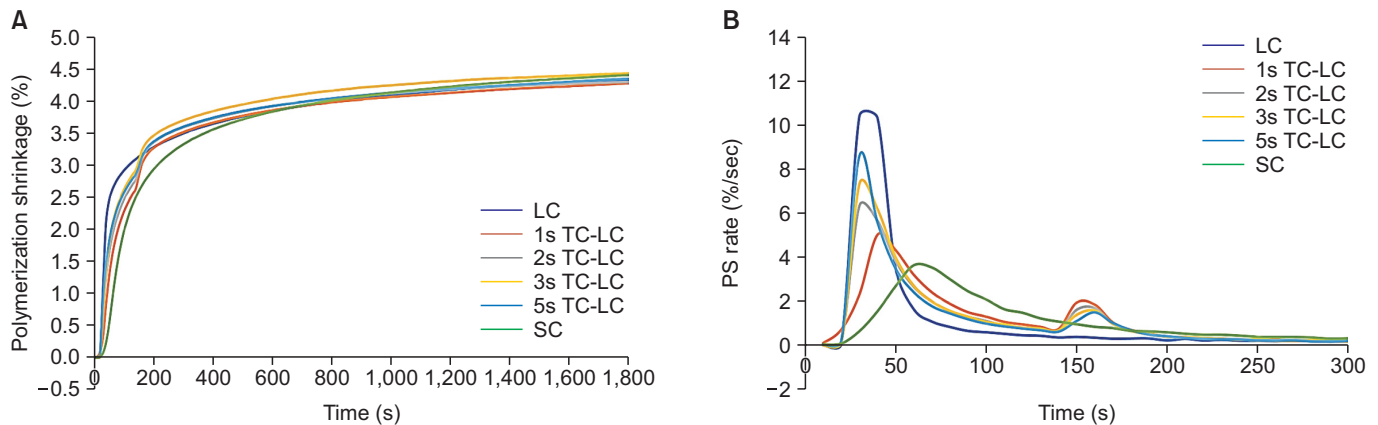


Fig. 2. Polymerization shrinkage (A) and polymerization shrinkage (PS) rate (B) of a dual-cure resin cement in light cure (LC), tack cure-light cure (TC-LC), and self cure (SC) modes.

cure 여부와 tack cure 시간이 레진시멘트의 중합수축에 영향을 미치지 않았다($p > 0.05$).

중합 방법별 tack cure 시간에 따른 레진시멘트의 중합수축 및 중합수축속도에 대한 그래프는 Figs. 1, 2에 나타내었다. Tack cure를 시행한 실험군들의 초기 중합수축은 tack cure를 시행하지 않은 SC군보다는 높고 20초의 광중합을 시행한 LC군보다는 낮게 관찰되었고(Figs. 1A and 2A) 이는 중합수축속도 그래프에서 더욱 분명하게 나타났는데(Figs. 1B and 2B) tack cure 시간이 길수록 중합수축의 기울기가 더 크고 중합수축속도가 더 증가하였다. 또한, 중합수축속도는 SC군의 경우 약 60초에서 정점에 도달하였으나 tack cure를 시행했을 때는 중합수축속도의 정점에 이르는 시간이 앞당겨졌으며 tack cure 시간이 길수록 LC군에 가까운 경향을 보였다. 그러나 tack cure를 시행했을 때는 약 60초에서 보였던 SC군의 중합수축속도의 정점은 관찰되지 않았다(Fig. 1B). Tack cure 후 자가중합을 시행했을 때 중합수축은 약 400초 이후부터 SC군이 TC-SC군들을 능가하기 시작하여 1,800초에서 SC군이 TC-SC군들보다 통계적으로 유의하게 큰 중합수축을 보였다(Fig. 1A). Tack cure 후 광중합을 시행했을 때 4개의 TC-LC군들 모두에서 중합수축이 증가하였고(Fig. 2A) 중합수축속도는 tack cure 시간에 반비례하는 순서로 측정되었으나(Fig. 2B) 1,800초에서는 LC군과 TC-LC군들 사이에 중합수축의 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

Discussion

레진시멘트의 중합수축은 간접수복물 실패의 중요한 원인 중 하나로 알려져 있으며[11] 중합률과 강한 양의 상관관계를 보이기 때문에 중합수축을 통해 중합률을 추정할 수 있다[12,13]. 대부분의 이중중합형 레진시멘트는 자가중합시킬 때가 광중합시킬 때보다 중합률이 더 낮은 경향을 보이는데[14,15] 이번 연구에서는 tack cure 시간이 자가중합 또는 광중합에 미치는 영향에 대해 알아보려고 자가중합 또는 광중합을 했을 때 중합수축[5], 중합률[16], 표면미세경도[17], 미세인장결합강도[18] 등에서 유의차가 없는 이중중합형 레진시멘트를 선택하여 중합수축을 측정된 결과 tack cure 시간은 자가중합 또는 광중합했을 때 중합수축에 영향을 미치지 않은 것으로 측정되어 귀무가설은 채택되었다. 그러나 TC-SC군들에서는 SC군에 비해 유의하게 낮은 중합수축을 보였는데 이는 tack cure가 레진시멘트의 자가중합에는 부정적인 영향을 미쳤다고 볼 수 있다. 레진시멘트를 자가중합시켰을 때는 약 60초가 지난 시점에서 중합수축속도가 가장 높게 측정되었으나 tack cure를 시행했을 때는 tack cure와 동시에 최대 중합수축속도에 도달하였다. 이 때 tack cure에 의한 중합수축속도는 자가중합에 비해 크게 증가하였으며 tack cure 시간이 증가할수록 중합수축속도 또한 증가하였다. 그러나 1-5초의 짧은 tack cure시간으로 인해 상대적으로 적은 수의 고분자 성장중심이 형성되어 교차결합이 적은 선형의 고분자 사슬이 만들어지면서 레진시멘트의 점도를 증가시키고, 이로 인해 tack cure 이후의 자가중합에 필요한 미반응 단량체의 이동이 제한되어 최종적으로 중합수축이 감소한 것으로 추측된다[19]. 이러한 중합수축의 감소는 tack cure 시간에 관계없이 일어났으며 1-5초의 tack cure 시간만으로 레

진시멘트를 적절히 광중합시키기에는 불충분한 것으로 판단된다[20].

이와는 다르게 tack cure 이후에 레진시멘트를 20초 광중합한 TC-LC군들의 중합수축은 tack cure 여부 및 tack cure 시간에 관계없이 LC군과 유의한 차이를 보이지 않았다. TC-LC군들에서 최종 광중합 시에 중합수축이 증가하여 일시적으로 LC군보다 높은 중합수축을 보였는데 이는 tack cure와 2분의 자가중합 후에도 광중합에 의해 미반응 단량체가 중합된 결과로 판단된다. 최종 광중합으로 인한 중합수축속도는 tack cure 시에 보였던 중합수축속도보다 낮게 측정되었고 tack cure할 때의 중합수축속도에 반비례하는 것으로 관찰되었다. 즉, tack cure 시간이 길수록 tack cure 시의 중합수축속도가 크고 최종 광중합 시에 중합수축속도가 낮았는데 이는 tack cure와 2분 동안의 자가중합 시에 반응하지 않고 남아있는 단량체의 양에 비례하는 것으로 여겨진다. 따라서 tack cure를 시행한 후 시멘트 잔사를 제거할 경우 추가적인 20초의 광중합이 필요하다고 판단된다[5].

TC-SC군의 중합수축속도는 1초의 tack cure만으로도 LC군의 최대 중합수축속도의 약 50%에 도달하였지만 SC군에서 약 60초에 관찰되었던 최고 중합수축속도의 정점은 관찰되지 않았다. 이것이 TC-SC군들이 SC군보다 낮은 중합수축을 보인 것과 관련이 있을 것으로 추측된다. 이와 달리, TC-LC군의 중합수축속도는 TC-SC군에서 나타나지 않았던 2차 중합수축속도의 정점을 보였는데 이는 최종 광중합으로 인해 추가적인 광중합이 일어났고 이로 인해 TC-LC군들과 LC군의 중합수축은 통계적 유의차를 보이지 않았다. 이러한 경향은 tack cure와 유사한 수복용 레진의 pulse delay cure에서도 관찰되는데, Krejci 등[21]은 광중합형 레진을 3초 pulse cure 했을 때의 중합수축속도가 최종 광중합 시의 약 50%에 도달하였고 pulse cure 후 광중합했을 때의 최종 중합수축은 pulse cure를 하지 않고 광중합했을 때보다 유의하게 낮았다고 보고하였다. 반면에 Hofmann 등[20]은 광중합형 레진을 낮은 조도로 3-4초간 pulse cure했을 때의 중합수축속도가 최종 광중합 시와 비교하여 통계적으로 유의하게 낮았고 3분 delay 후 광중합 했을 때의 중합수축은 pulse cure를 하지 않고 광중합했을 때와 통계적 유의차가 없었다고 보고하였다. 이번 연구에서는 이중중합형 레진시멘트로 tack cure를 했을 때 광중합형 레진의 pulse cure와 비슷한 중합수축 및 중합수축속도를 보였고, 1-5초의 tack cure 이후에 최종 광중합을 할 경우 tack cure를 하지 않았을 때와 통계적인 유의차가 없는 중합수축을 보여 제조사의 지시에 따라 tack cure를 할 경우 광중합할 것을 추천한 Kim 등[5]의 주장을 뒷받침한다.

이중중합형 레진시멘트는 제조사에서 권장하는 tack cure 시간이 1-5초로 다양하지만 광중합기 종류, 광조사 방향 및 광조사 거리에 따라 제조사가 권장한 tack cure 시간으로 시멘트 잔사를 제거할 수 있는 적절한 점도에 도달하지 못할 수도 있다. 이번 연구 결과를 적용하면 5초 이내에서 술자가 선호하는 tack cure 시간을 적용할 경우, 시멘트 잔사를 제거한 후 최종 광중합을 시행한다면 tack cure가 레진시멘트의 중합에 부정적인 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 하지만 광중합이 우세하거나 자가중합이 우세한 이중중합형 레진시멘트의 경우 광중합과 자가중합 과정이 복잡하게 얽혀있는 tack cure 과정에 의해 레진시멘트의 중합이 이와는 상이한 결과를 보일 수 있어 이에 대한 추가적 연구가

필요해 보인다. 또한 이번 논문에서는 tack cure 시멘트 잔사 제거 시간을 2분으로 설정하였는데, 시멘트 잔사 제거 시간 또한 레진시멘트의 중합에 영향을 미치는지에 대한 추가적 연구가 필요할 것으로 생각한다.

Acknowledgements

This study was financially supported by Chonnam National

University (Grant number: 2020-1955).

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

1. Stegall D, Tantbirojn D, Perdigão J, Versluis A. Does tack curing luting cements affect the final cure? *J Adhes Dent* 2017; 19:239-43. doi: 10.3290/j.jad.a38410.
2. Shim JS, Kang JK, Jha N, Ryu JJ. Polymerization mode of self-adhesive, dual-cured dental resin cements light cured through various restorative materials. *J Esthet Restor Dent* 2017;29:209-14. doi: 10.1111/jerd.12285.
3. Linkevicius T, Puisys A, Vindasiute E, Linkeviciene L, Apse P. Does residual cement around implant-supported restorations cause peri-implant disease? A retrospective case analysis. *Clin Oral Implants Res* 2013;24:1179-84. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02570.x.
4. Hayes A, Duvall N, Wajdowicz M, Roberts H. Effect of endocrown pulp chamber extension depth on molar fracture resistance. *Oper Dent* 2017;42:327-34. doi: 10.2341/16-097-L.
5. Kim YS, Choi SH, Lee BN, Hwang YC, Hwang IN, Oh WM, Ferracane JL, Chang HS. Effect of tack cure on polymerization shrinkage of resin-based luting cements. *Oper Dent* 2020;45: E196-206. doi: 10.2341/19-159-L.
6. Tauböck TT, Bortolotto T, Buchalla W, Attin T, Krejci I. Influence of light-curing protocols on polymerization shrinkage and shrinkage force of a dual-cured core build-up resin composite. *Eur J Oral Sci* 2010;118:423-9. doi: 10.1111/j.1600-0722.2010.00746.x.
7. Atlas AM, Raman P, Dworak M, Mante F, Blatz MB. Effect of delayed light polymerization of a dual-cured composite base on microleakage of Class 2 posterior composite open-sandwich restorations. *Quintessence Int* 2009;40:471-7.
8. Moraes RR, Faria-e-Silva AL, Ogliaeri FA, Correr-Sobrinho L, Demarco FF, Piva E. Impact of immediate and delayed light activation on self-polymerization of dual-cured dental resin luting agents. *Acta Biomater* 2009;5:2095-100. doi: 10.1016/j.actbio.2009.01.030.
9. Chen L, Suh BI, Gleave C, Choi WJ, Hyun J, Nam J. Effects of light-, self-, and tack-curing on degree of conversion and physical strength of dual-cure resin cements. *Am J Dent* 2016;29:67-70.
10. Flury S, Peutzfeldt A, Lussi A. The effect of polymerization procedure on Vickers hardness of dual-curing resin cements. *Am J Dent* 2011;24:226-32.
11. Lee IB, An W, Chang J, Um CM. Influence of ceramic thickness and curing mode on the polymerization shrinkage kinetics of dual-cured resin cements. *Dent Mater* 2008;24:1141-7. doi: 10.1016/j.dental.2008.03.015.
12. Lee IB, Cho BH, Son HH, Um CM. A new method to measure the polymerization shrinkage kinetics of light cured composites. *J Oral Rehabil* 2005;32:304-14. doi: 10.1111/j.1365-2842.2004.01414.x.
13. Braga RR, Ferracane JL. Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. *J Dent Res* 2002;81:114-8. doi: 10.1177/0810114.
14. Yoshida K, Meng X. Influence of light-exposure methods and depths of cavity on the microhardness of dual-cured core build-up resin composites. *J Appl Oral Sci* 2014;22:44-51. doi: 10.1590/1678-775720130359.
15. Aguiar TR, Di Francescantonio M, Arrais CA, Ambrosano GM, Davanzo C, Giannini M. Influence of curing mode and time on degree of conversion of one conventional and two self-adhesive resin cements. *Oper Dent* 2010;35:295-9. doi: 10.2341/09-252-L.
16. Inokoshi M, Pongprueksa P, De Munck J, Zhang F, Vanmeensel K, Minakuchi S, Vleugels J, Naert I, Van Meerbeek B. Influence of light irradiation through zirconia on the degree of conversion of composite cements. *J Adhes Dent* 2016;18: 161-71. doi: 10.3290/j.jad.a35842.
17. Kim AR, Jeon YC, Jeong CM, Yun MJ, Choi JW, Kwon YH, Huh JB. Effect of activation modes on the compressive strength, diametral tensile strength and microhardness of dual-cured self-adhesive resin cements. *Dent Mater J* 2016;35: 298-308. doi: 10.4012/dmj.2015-056.
18. Youm SH, Jung KH, Son SA, Kwon YH, Park JK. Effect of dentin pretreatment and curing mode on the microtensile

- bond strength of self-adhesive resin cements. *J Adv Prosthodont* 2015;7:317-22. doi: 10.4047/jap.2015.7.4.317.
19. Asmussen E, Peutzfeld A. Influence of pulse-delay curing on softening of polymer structures. *J Dent Res* 2001;80:1570-3. doi: 10.1177/00220345010800061801.
20. Hofmann N, Denner W, Hugo B, Klaiber B. The influence of plasma arc vs. halogen standard or soft-start irradiation on polymerization shrinkage kinetics of polymer matrix composites. *J Dent* 2003;31:383-93. doi: 10.1016/s0300-5712(03)00089-7.
21. Krejci I, Planinic M, Stavridakis M, Bouillaguet S. Resin composite shrinkage and marginal adaptation with different pulse-delay light curing protocols. *Eur J Oral Sci* 2005;113:531-6. doi: 10.1111/j.1600-0722.2005.00259.x.