

즉시 광중합과 지연 광중합이 이원 중합 레진시멘트의 중합 수축량에 미치는 영향

이소연¹ · 김성훈^{2*} · 하승룡³ · 최유성⁴ · 김희경⁵

¹서울대학교 치의학대학원, ²서울대학교 치의학대학원 치과보철학교실, ³아주대학교 의과대학 치의학과,

⁴단국대학교 치의학대학원 치과보철학교실, ⁵중앙보훈병원 치과병원 치과보철과

Effects of immediate and delayed light activation on the polymerization shrinkage-strain of dual-cure resin cements

So-Yeoun Lee¹, Sung-Hun Kim^{2*}, Seung-Ryong Ha³, Yu-Sung Choi⁴, Hee-Kyung Kim⁵

¹School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

²Department of Prosthodontics and Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

³Department of Dentistry, School of Medicine, Ajou University, Suwon, Republic of Korea

⁴Department of Prosthodontics, Dankook University Dental Clinic, Cheonan, Republic of Korea

⁵Department of Prosthodontics, Veterans Health Service Medical Center Seoul, Republic of Korea

Purpose: This study was designed to compare the amount of polymerization shrinkage of dual-cure resin cements according to different polymerization modes and to determine the effect of light activation on the degree of polymerization. **Materials and methods:** Four kinds of dual-cure resin cements were investigated: Smartcem 2, Panavia F 2.0, Clearfil SA Luting and Zirconite. Each material was tested in three different polymerization modes: self-polymerization only, immediate light polymerization and 5 minutes-delayed light polymerization. The time-dependent polymerization shrinkage-strain was evaluated for 30 minutes by Bonded-disk method at 37 °C. Five recordings of each material with three different modes were taken. Data were analyzed using one-way ANOVA and multiple comparison Scheffé test ($\alpha=.05$). **Results:** All materials, except Panavia F 2.0, exhibited the highest polymerization shrinkage-strain through delayed light-activated polymerization. No significant difference between light activation modes was found with Panavia F 2.0. All materials exhibited more than 90% of polymerization rate in the immediate or delayed light activated group within 10 minutes. **Conclusion:** As a clinical implication of this study, the application of delayed light activation mode to dual-cure resin cements is advantageous in terms of degree of polymerization. (*J Korean Acad Prosthodont* 2014;52:195-201)

Key words: Dual-cure resin cement; Polymerization shrinkage-strain; Light activation

서론

레진 시멘트는 중합 과정에서 체적의 수축을 불가피하게 수반하며 이러한 체적의 수축은 보철물과 치질의 경계면에서 스트레스를 유발한다. 레진 시멘트의 중합 수축량은 변환 정도(Degree of conversion)와 관련이 있으며, 변환 정도의 직접적인 정

보로 사용할 수 있다는 보고가 있다.^{1,3} 그러나 이러한 중합 수축량과 변환 정도와의 상관 관계는 선형 비례관계라고 할 수는 없다.⁴ 불충분한 변환 정도는 수복물 변연에 박테리아 성장을 유발하며,⁵ 잔존 단량체(monomer)는 레진 시멘트의 물리적 특성을 감소시킨다.⁶

성공적인 보철물은 접착제의 효율성과 밀접한 관계가 있다.

*Corresponding Author: Sung-Hun Kim

Department of Prosthodontics and Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University, 275-1, Yeongseon-dong, Jongno-gu, Seoul, 110-768, Republic of Korea
+82 2 2072 2664; e-mail, ksh1250@snu.ac.kr

Article history: Received 16 May, 2014 / Last Revision 7 July, 2014 / Accepted 14 July, 2014

© 2014 The Korean Academy of Prosthodontics

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

레진 시멘트는 중합 과정에 따라 자가 중합형, 광중합형, 이원 중합형으로 분류 할 수 있으며, 이원 중합형 레진 시멘트는 자가 중합형과 광중합형 레진 시멘트의 성분을 결합시켜, 광 조사가 미치지 못하는 수복 부위에 적절한 중합을 유도하며 자가 중합형 레진 시멘트보다 짧은 중합 시간을 갖는다. 이러한 장점으로 이원 중합형 레진 시멘트는 간접 보철물이나 포스트 등에 널리 사용 되고 있다.⁷ 자가 중합형 레진 시멘트와 이원 중합형 레진 시멘트가 간접 레진 수복물의 상아질 접착에 있어서 광중합형 레진 시멘트와 유사한 미세 인장 결합 강도를 보였으며, 레진 시멘트의 결합 강도는 중합 방법 보다는 수복물의 재료와 밀접한 관련이 있다는 보고가 있다.⁸

이원 중합형 레진 시멘트의 중합 방식에 따른 접착제의 특성에 관한 연구가 진행 되어 왔다. 이원 중합형 레진 시멘트를 자가 중합 반응만으로 중합 시킨 경우보다 광 조사한 경우 상아질에 대한 접착력이 향상 되었다는 보고가 있다.⁹ 이원 중합형 레진 시멘트의 자가 중합 과정과 광 중합 과정의 상호 관계에 관한 여러 연구가 있다. 지연 광중합이 즉시 광중합에 비해 더 높은 변환 정도를 보이며,¹⁰ 더 낮은 보철물의 미세누출을 보인다¹¹는 보고가 있다. 이와는 반대로 이원 중합형 레진 시멘트의 중합 효율은 광 조사 에너지량과 관련이 있으며, 높은 광 조사 에너지량 하에서는 즉시 광중합 방법이 더 높은 변환 정도를 보였다는 보고가 있다.¹² 그러나, 현재 사용 되고 있는 이원 중합형 레진 시멘트의 중합 조건에 따른 중합 수축량에 관한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 이원 중합형 레진 시멘트의 세 가지 서로 다른 중합 방법 즉, 자가 중합, 즉시 광중합, 지

연 광중합에 따른 중합 수축량을 비교하고 광조사가 중합 수축량에 미치는 영향에 관하여 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 네 가지 종류의 이원 중합형 레진 시멘트가 사용되었다(Table 1). 각각의 시멘트는 제조사의 지시에 따라 혼합하였다; Panavia F 2.0과 Clearfil SA Luting은 mixing pad와 스파툴라를 사용하여 혼합하였고, Smartcem 2와 Zirconite는 dispenser tip을 사용하여 혼합하였다.

Bonded-disk method를 사용하여 각각의 레진 시멘트의 시간에 따른 중합 수축률을 측정하였다.¹³ 이 장치는 민감도 0.1 μm 이상의 Linear Variable Displacement Transformer (LVDT, GT2000, RDT Electronics Ltd, Wolverhampton, UK)를 고정할 수 있는 알루미늄 스탠드와 수평테이블로 구성되었으며, brass anvil이 수평테이블의 아래에 위치한다. 제조사의 지시에 따라 재료를 혼합한 후 각 시편을 황동 링(내면 직경 16 mm, 두께 1 mm)의 중앙에 부착된 유리판에 위치시킨다. 링의 상부와 시편은 25 mm \times 25 mm \times 0.1 mm 크기의 변위 가능한 현미경용 커버 글라스로 눌러서 원판 형태의 시편(직경 7 - 9 mm, 두께 1 mm)을 제작하였다.¹⁴

시편이 중합 수축하는 동안 커버 글라스는 변위된다. 커버 글라스의 중앙에 LVDT를 수직 정렬 시키고 이러한 변위를 측정한다. 시편을 혼합하고 난 후 30분 동안의 중합 수축률의 변화를 LVDT에 의해 전압 단위로 측정했다 측정된 데이터는 sig-

Table 1. Dual-cure resin cements investigated in this study

Material	LOT No.	Manufacturer	Composition
Smartcem 2	091010 (medium) 090730 (light)	DENTSPLY, Caulk, Germany	Urethane dimethacrylate, Di- and Tri- methacrylate resins, Phosphoric acid modified acrylate resin, Barium boron fluoroaluminosilicate glass, Organic peroxide initiator, Camphorquinone photoinitiator, Phosphene oxide photoinitiator, Accelerators, Butylated hydroxyl toluene, UV stabilizer, Titanium dioxide, Iron oxide, Hydrophobic amorphous silicon dioxide
Panavia F 2.0	00415A (A paste) 00073B (B paste)	Kuraray medical inc., Japan	10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Hydrophobic aliphatic dimethacrylate, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Silanated silica filler, Silanated colloidal silica, dl-Camphorquinone, Catalysts, Initiators, Others
Clearfil SA Luting	00143B	Kuraray medical inc., Japan	Bis-GMA, Triethylenglycodimethacrylate (TEGDMA), 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Hydrophobic aliphatic dimethacrylate, Silanated barium glass filler, Silanated colloidal silica, Surface treated sodium fluoride, dl-Camphorquinone, Benzol peroxide, Initiator, Accelerators, Pigments
Zirconite	4157HQBARCZ	BJM Lab. Ltd., Israel	Bis-GMA, Urethandimethacrylate Oligomer, Triethylenglycodimethacrylate (TEGDMA), Methacrylated phosphoric acid esters, 4-Methacryloxyethyltrimellitic acid, [3-(Methacryloyloxy)propyl]trimethoxysilane, Photoinitiator, Co-initiator, Benzoyl Peroxide, Barium aluminoborosilicate glass, Fumed Silica

nal conditioning unit (Type E307-3, RDP, Electronics, Wolverhampton, UK)로 전송 되었으며 Picolog software (Version 5.03.2, Pico Technology Ltd., St. Neots, Cambridshire, UK)로 기록하였다. 선수축량과 커버 글라스의 변위로 얻어진 시편의 두께 차이는 Fig.P software (The Scientific Fig.Processor, Version2.98, Fig.P Software Corporation, Durham, NC, USA)에 의해 변위/전압($3.4 \times 10^6 \text{ mm/mV}$)의 비로 얻어진다. 선수축량(ΔL)을 처음 두께($L_0 = 1 \text{ mm}$)로 나누고 다시 100을 곱하여 시간에 대한 수축률(%)을 구하였다. 고압의 전기 저항을 가진 brass anvil을 가열하여 측정 기구의 온도를 구강 내와 유사하게 37°C 로 유지하였다.¹⁵

각 레진시멘트를 3가지 중합방법에 따라 5개의 시편을 제작하였다. 자가 중합의 경우 모든 광선 노출을 제한하고 화학적으로만 중합하기 위해 두꺼운 종이 박스를 만들어 모든 장치를 감쌌다. 즉시 광중합과 지연 광중합의 경우, halogen curing unit (Elipar™ 2500, 3M ESPE Dental Products, Germany, 430 mW/cm^2)

이 사용 되었다. 각 시편은 혼합 완료 직후, 혹은 5분 후에 40초 간 광조사 되었다. 1, 2, 5, 10, 20, 30분 후의 각 재료의 중합 수축률을 구하였다.

통계 분석은 SPSS (Version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였으며, 일원분산분석과 다중 분석을 위한 Scheffé test를 사용하였고, 유의수준은 0.05으로 하였다.

결과

세 가지 중합 방법에 따른 각 레진 시멘트의 중합 수축률 곡선은 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4와 같다. 중합 수축률 평균값(%)과 표준편차는 Table 2에 나타내었다.

시간에 따른 중합 수축률 곡선을 보면 레진 시멘트를 혼합한 때부터 30분까지 중합 수축률이 계속 증가하는 것을 알 수 있다. 모든 재료에서 자가 중합 반응 시 중합 수축이 서서히 증가

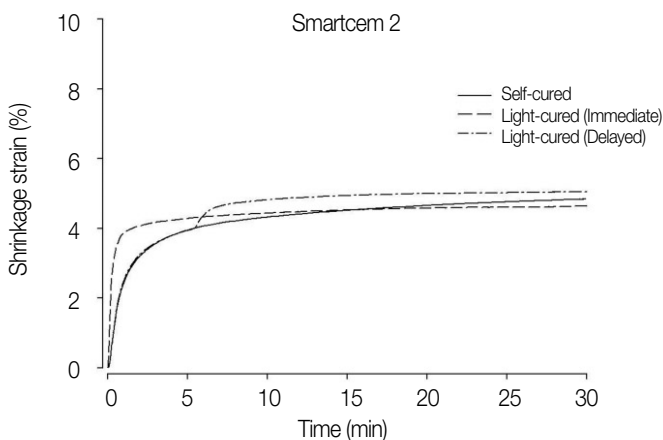


Fig. 1. Representative polymerization shrinkage-strain kinetic curves of Smartcem 2 for each curing mode.

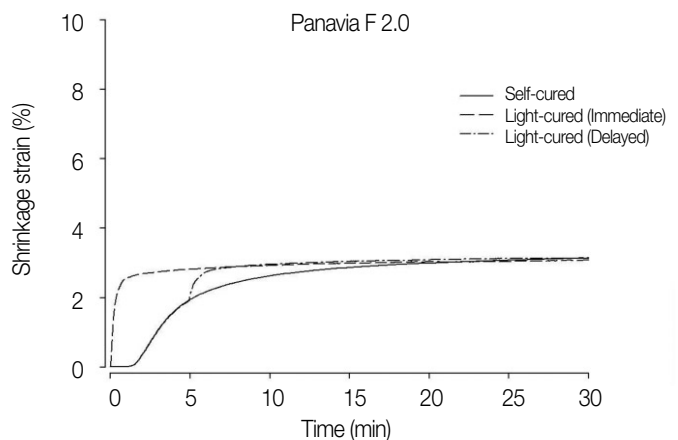


Fig. 2. Representative polymerization shrinkage-strain kinetic curves of Panavia F 2.0 for each curing mode.

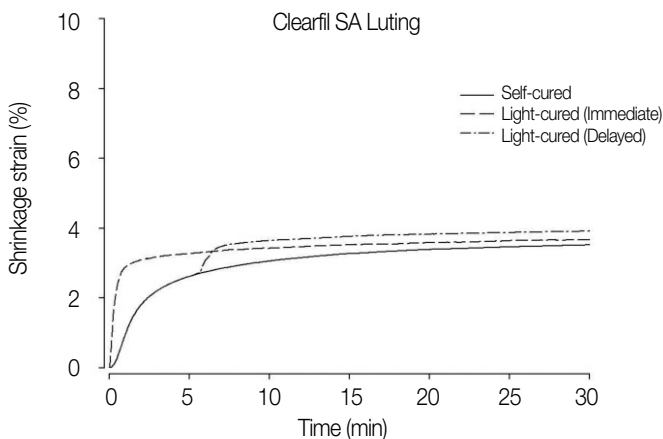


Fig. 3. Representative polymerization shrinkage-strain kinetic curves of Clearfil SA Luting for each curing mode.

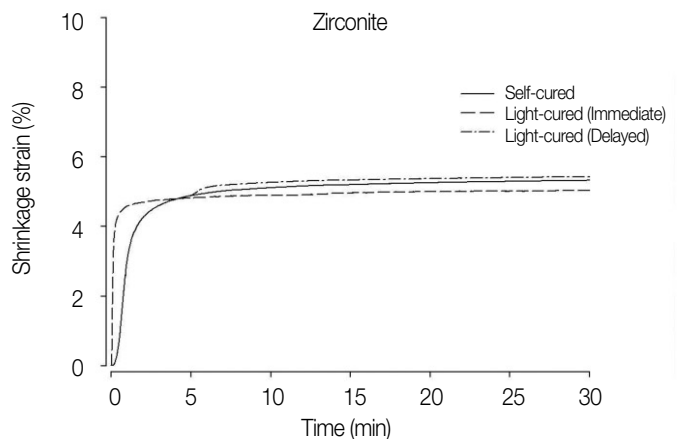


Fig. 4. Representative polymerization shrinkage-strain kinetic curves of Zirconite for each curing mode.

Table 2. Means and standard deviations in parenthesis of the polymerization shrinkage-strain of dual-cure resin cements investigated

Material	Mode	Time at measurement (minutes)						
		1	2	3	5	10	20	30
Smartcem 2	Self	2.18 (0.15)	3.05 (0.08)	3.40 (0.10)	3.76 (0.13)	4.11 (0.16)	4.39 (0.21)	4.52(0.24)
	Immediate	3.67 (0.15)	3.87 (0.15)	3.97 (0.16)	4.09 (0.15)	4.25 (0.15)	4.40 (0.15)	4.47 (0.15)
	Delayed	2.82 (0.09)	3.54 (0.08)	3.87 (0.08)	4.21 (0.09)	4.98 (0.16)	5.17 (0.16)	5.24 (0.16)
Panavia F 2.0	Self	0.07 (0.04)	0.40 (0.10)	1.07 (0.16)	1.93 (0.19)	2.61 (0.15)	2.98 (0.13)	3.13 (0.12)
	Immediate	2.46 (0.10)	2.58 (0.10)	2.64 (0.10)	2.71 (0.11)	2.81 (0.11)	2.90 (0.13)	2.95 (0.14)
	Delayed	0.55 (0.24)	1.28 (0.23)	1.69 (0.20)	2.32 (0.27)	2.91 (0.10)	3.02 (0.11)	3.07 (0.11)
Clearfil SA Luting	Self	0.84 (0.10)	1.77 (0.09)	2.19 (0.08)	2.59 (0.06)	3.00 (0.06)	3.30 (0.10)	3.44 (0.12)
	Immediate	3.00 (0.10)	3.18 (0.09)	3.26 (0.09)	3.35 (0.09)	3.49 (0.08)	3.61 (0.08)	3.69 (0.08)
	Delayed	1.18 (0.22)	1.93 (0.15)	2.34 (0.12)	2.80 (0.07)	3.75 (0.20)	3.92 (0.21)	4.00 (0.22)
Zirconite	Self	2.58 (0.46)	4.12 (0.23)	4.52 (0.22)	4.82 (0.21)	5.06 (0.20)	5.21 (0.18)	5.28(0.19)
	Immediate	4.43 (0.14)	4.53 (0.14)	4.59 (0.13)	4.66 (0.13)	4.74 (0.12)	4.83 (0.12)	4.87 (0.11)
	Delayed	3.60 (0.17)	4.29 (0.06)	4.56 (0.05)	4.85 (0.09)	5.23 (0.08)	5.34 (0.09)	5.39 (0.09)

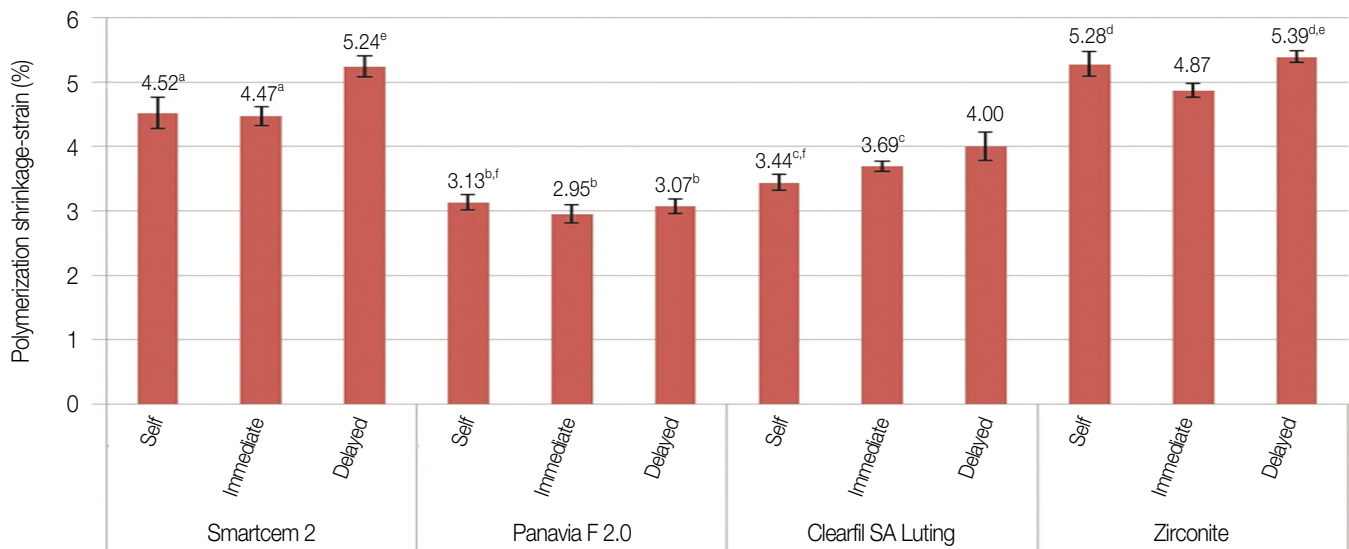


Fig. 5. Polymerization shrinkage-strain of dual-cure resin cements investigated for different curing mode at 30 minutes. The values with the same superscript letter are not significantly different from each other based on multiple comparison Scheffé test ($P > .05$).

함을 보여주는 반면, 즉시 광중합의 경우, 중합 수축이 급격히 증가하였다. 지연 광중합 시에는 중합 수축이 상대적으로 늦게 시작되었으며, 초기에는 자가 중합 곡선을 따르다가 광조사 이후 눈에 띄는 증가를 보였다.

30분 경과 후, Zirconite가 세 가지 중합 방법에서 모두 다른 시멘트에 비해 높은 중합 수축률을 보였고(5.28%, 4.87%, 5.39%; 자가 중합, 즉시 광중합, 지연 광중합), Panavia F 2.0이 가장 낮은 중합 수축률을 보였다(3.13%, 2.95%, 3.07%; 자가 중합, 즉시 광중합, 지연 광중합). Smartcem 2은 4.52%, 4.47%, 5.24%의 중합 수축률을 보였고, Clearfil SA Luting은 3.44%, 3.69%, 4.00%의 중합 수축률을 보였다(Fig. 5).

같은 중합 방법에 있어서 각각의 레진 시멘트의 중합 수축률

은 대부분의 경우 유의한 차이를 보였으나, Panavia F 2.0과 Clearfil SA Luting간의 자가 중합에서의 중합 수축률의 차이는 유의한 수준은 아니었다. 또한, Smartcem 2와 Zirconite간의 지연 광중합에서의 중합 수축률의 차이는 유의한 수준은 아니었다.

Smartcem 2와 Clearfil SA Luting은 지연 광중합에서 다른 중합 방법에 비해 높은 중합 수축률을 보였고, Zirconite의 경우 지연 광중합에서 즉시 광중합에 비해 높은 중합 수축률을 보였다. 반면, Panavia F 2.0에서는 중합 방법간의 중합 수축률의 유의한 차이가 없었다.

Table 3은 30분 경과 후 수축률에 대한 초기 10분 경과 후 수축률의 비(%)를 보여 주고 있으며, 초기 10분 동안의 중합 정도를 알 수 있다. 자가 중합 방법의 경우, Smartcem 2와 Zirconite에서

Table 3. Ratio of polymerization (%) at 10 minutes to 30 minutes

Material	Polymerizing mode	10 min/30 min × 100 (%)
Smartcem 2	Self	90.9
	Immediate	95.2
	delayed	95.1
Panavia F 2.0	Self	83.3
	Immediate	95.2
	delayed	94.8
Clearfil SA Luting	Self	87.2
	Immediate	94.6
	delayed	93.8
Zirconite	Self	95.8
	Immediate	97.3
	delayed	97.0

90% 이상의 비율을 보여주고 있으나(각각 90.7%, 95.8%), Panavia F 2.0와 Clearfil SA Luting에서는 90% 미만의 비율을 보여 주고 있다(각각 83.3%, 87.2%). 즉시 혹은 지연 광중합에서 모든 시멘트는 90% 이상의 비율을 보였다(94.6 - 97.4%).

고찰

본 연구에서는 이원 중합 레진 시멘트의 중합 방법을 다르게 하여, 시간에 따른 중합 수축률을 측정하였다. 본 연구의 결과에 따르면 빛 활성화의 효과는 재료에 따라, 그리고 광선 조사 시기에 따라 달라 질 수 있다. Panavia F 2.0을 제외한 세 가지 이원 중합 레진 시멘트에서 자가 중합보다 지연 광중합의 경우에서 더 많은 중합 정도를 보였으며, Zirconite에서는 자가 중합과 지연 광중합 간의 통계적 유의성은 없었다. 이러한 결과는 이원 중합 레진 시멘트에 있어서 광조사 없이 자가 중합 반응만을 한 경우 낮은 변환 정도를 보였다는 이전의 연구 결과^{16,17}와 일치한다고 볼 수 있다. 반응하지 않고 남은 단량체는 수분 흡수, 중합체 기질(matrix)의 연화, 강도의 감소 등을 유발하며,¹⁸ 술 후 과민증, 미세 누출, 이차 우식증, 변색등과 관련이 있다.^{19,20} 따라서 적절한 광조사 시기가 고려된 이원 중합 레진 시멘트의 충분한 중합이 임상 적용에 있어서 중요하다고 할 수 있다.

본 연구 결과에 따르면 광조사 시기는 레진 시멘트의 중합 정도에 영향을 미쳤다. 이러한 결과는 이원 중합 레진 시멘트의 지연 광중합이 물리적 특성을 높이는데 도움을 준다는 이전의 보고¹⁰⁻¹²와 일치한다고 할 수 있다. 즉시 광조사를 시행하는 경우, 교차 결합 중합체의 연결 고리가 형성 되고 점도가 높아져서 반응하지 않은 단량체와 중합 반응 촉진제가 형성된 네트워크에 갇히게 되어 결과적으로 자가 중합 반응이 방해를 받는다.¹² 이원 결합 레진 시멘트의 지연 광중합은 높은 변환 정도를 보이며, 형성된 중합체 네트워크의 방해 없이 자가 중합

에 의한 초기 변환(conversion)을 허용하며, 광조사 하에서 남은 광활성 요소들이 추가적인 반응에 참여할 수 있도록 한다. 따라서 지연 광중합은 중합 정도를 높인다.

본 연구에서 각 재료간의 중합 수축률의 유의한 차이를 보였다. Zirconite가 가장 높은 수치를 보였으며, Panavia F 2.0이 가장 낮은 수치를 보였다. 그러나 이러한 차이가 곧 중합 정도의 차이를 나타낸다고는 할 수 없으며, 구성 성분과 충전제 등과 같은 재료 자체의 성질이 함께 고려되어야 한다.²¹ 그러므로 재료간의 중합 수축률을 비교 하는 것은 의미가 없으며, 같은 재료 내에서의 중합 방법에 따른 수축률 비교는 그 의미가 있다 할 수 있다.

Panavia F 2.0는 세 가지 서로 다른 중합 방법에 있어서 중합 수축률의 유의한 차이를 보이지 않았으며, 이러한 결과를 토대로 하여, 금관과 같이 광조사의 접근이 어려운 경우 Panavia F 2.0의 사용이 추천 될 수 있다.

10분 경과 후 중합은 중합효율을 평가하기 위해 중요한 의미를 갖는다. Arrais 등은 간접 수복물의 교합 조절, 연마, 표면 처리와 같이 스트레스를 유발 시킬 수 있는 술식은 합착 10분 후에 시행 하여야 한다고 주장하였다.²² 이는 접착 10분 경과시에 기계적인 특성을 향상시킬 수 있는 변환 정도가 높은 수준에 도달하기 때문이다. Rueggeberg와 Caaughman은 단량체의 변환은 24 시간 동안 일어나지만, 특히 첫 10분 내에 90%의 변환이 일어난다고 하였다.²³ 본 연구에서도 이와 유사한 결과를 얻었다. 네 종류의 이원 중합 레진 접착제 모두 즉시 혹은 지연 광중합 방법 모두에서 첫 10분 경과시에 90% 이상의 중합을 보였다.

본 연구의 결과에 따르면 Smartcem 2와 Zirconite는 자가 중합에서보다 즉시 광중합에서 더 낮은 중합 수축률을 보였다. 이는 앞서 언급했던 즉시 광조사에 의해 초기 자가 중합 반응이 방해를 받는다는 주장을 뒷받침 한다. Clearfil SA Luting은 지연 광중합, 즉시 광중합, 자가 중합의 순으로 중합 수축률을 보였다. 이는 아마도 Clearfil SA Luting의 구성 성분 중 자가 중합에 관여하는 성분이 적기 때문일 것이다.

본 연구에서 Smartcem 2와 Zirconite가 즉시 광중합에서 자가 중합보다 더 낮은 최종(30분) 중합 수축률을 보였지만(Fig. 5), 초기 10분 경과 시에서는 즉시 광중합에서 자가 중합보다 더 높은 중합 수축률을 보였다(Table 3). 이는 즉시 광중합의 낮은 최종 중합 수축률에도 불구하고, 이원 중합 레진 시멘트는 자가 중합으로만 반응 하는 경우보다 광조사를 하는 경우가 중합효율 측면에서 잇점을 가지고 있다고 볼 수 있다.

높은 중합율은 치과용 중합 재료의 이상적인 요구 조건이며, 이는 기계적인 특성 및 임상적인 성공과도 연관 되어진다. 본 연구에서는 이원 중합 레진 시멘트의 지연 광중합의 효과를 밝히기 위하여 초점을 맞추었으나, 적절한 중합을 위해 어느 정도의 시간을 지연 시켜야 하느냐에 관한 기존의 정보는 부족하였다. 추후 이원 중합 레진 시멘트의 지연 중합의 임상 적용에 있어 좀 더 명확한 지연 시간에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론

이원 중합 레진 시멘트의 광중합 반응은 광조사 없이 자가 중합으로만 반응 시키는 경우보다 더 높은 중합효율을 보였다. 즉시 광중합은 자가 중합 반응에 방해 요소로 작용 할 수 있으며, 지연 광중합이 좀 더 효율적인 중합 방법이라고 할 수 있다.

References

- Venhoven BA, de Gee AJ, Davidson CL. Light initiation of dental resins: dynamics of the polymerization. *Biomaterials* 1996;17:2313-8.
- Braga RR, Ferracane JL. Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. *J Dent Res* 2002;81:114-8.
- Lu H, Stansbury JW, Bowman CN. Towards the elucidation of shrinkage stress development and relaxation in dental composites. *Dent Mater* 2004;20:979-86.
- Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Influence of irradiant energy on degree of conversion, polymerization rate and shrinkage stress in an experimental resin composite system. *Dent Mater* 2008;24:1164-8.
- Hansel C, Leyhausen G, Mai UE, Geurtsen W. Effects of various resin composite (co)monomers and extracts on two caries-associated micro-organisms in vitro. *J Dent Res* 1998;77:60-7.
- Arikawa H, Kanie T, Fujii K, Shinohara N. Bending strength and depth of cure of light-cured composite resins irradiated using filters that simulate enamel. *J Oral Rehabil* 2004;31:74-80.
- Di Francescantonio M, Aguiar TR, Arrais CA, Cavalcanti AN, Davanzo CU, Giannini M. Influence of viscosity and curing mode on degree of conversion of dual-cured resin cements. *Eur J Dent* 2013;7:81-5.
- de Menezes MJ, Arrais CA, Giannini M. Influence of light-activated and auto- and dual-polymerizing adhesive systems on bond strength of indirect composite resin to dentin. *J Prosthet Dent* 2006;96:115-21.
- Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA, Pashley DH. Microtensile bond strength of dual-polymerizing cementing systems to dentin using different polymerizing modes. *J Prosthet Dent* 2007;97:99-106.
- Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM. Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am* 2007;51:453-71.
- 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.
- Moraes RR, Faria-e-Silva AL, Ogliari 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.
- Watts DC, Cash AJ. Determination of polymerization shrinkage kinetics in visible-light-cured materials: methods development. *Dent Mater* 1991;7:281-7.
- Watts DC, Marouf AS. Optimal specimen geometry in bonded-disk shrinkage-strain measurements on light-cured biomaterials. *Dent Mater* 2000;16:447-51.
- Kim SH, Watts DC. Polymerization shrinkage-strain kinetics of temporary crown and bridge materials. *Dent Mater* 2004;20:88-95.
- Spinell T, Schedle A, Watts DC. Polymerization shrinkage kinetics of dimethacrylate resin-cements. *Dent Mater* 2009;25:1058-66.
- Moraes RR, Brandt WC, Naves LZ, Correr-Sobrinho L, Piva E. Light- and time-dependent polymerization of dual-cured resin luting agent beneath ceramic. *Acta Odontol Scand* 2008;66:257-61.
- Kim JW, Jang KT, Lee SH, Kim CC, Hahn SH, García-Godoy F. Effect of curing method and curing time on the microhardness and wear of pit and fissure sealants. *Dent Mater* 2002;18:120-7.
- el-Mowafy OM, Rubo MH, el-Badrawy WA. Hardening of new resin cements cured through a ceramic inlay. *Oper Dent* 1999;24:38-44.
- Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Mechanical properties of resin cements with different activation modes. *J Oral Rehabil* 2002;29:257-62.
- Blackman R, Barghi N, Duke E. Influence of ceramic thickness on the polymerization of light-cured resin cement. *J Prosthet Dent* 1990;63:295-300.
- Arrais CA, Rueggeberg FA, Waller JL, de Goes MF, Giannini M. Effect of curing mode on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems. *J Dent* 2008;36:418-26.
- Rueggeberg FA, Caughman WF. The influence of light exposure on polymerization of dual-cure resin cements. *Oper Dent* 1993;18:48-55.

즉시 광중합과 지연 광중합이 이원 중합 레진시멘트의 중합 수축량에 미치는 영향

이소연¹ · 김성훈^{2*} · 하승룡³ · 최유성⁴ · 김희경⁵

¹서울대학교 치의학대학원, ²서울대학교 치의학대학원 치과보철학교실, ³아주대학교 의과대학 치의학과,
⁴단국대학교 치의학대학원 치과보철학교실, ⁵중앙보훈병원 치과병원 치과보철과

목적: 본 연구에서는 세 가지 중합 방법에 따른 이원 중합 레진 시멘트의 중합 수축률을 비교하고 광조사가 중합 정도에 미치는 영향에 관하여 알아 보고자 하였다.

재료 및 방법: 네 가지 종류의 이원 중합형 레진 시멘트(Smartcem 2, Panavia F 2.0, Clearfil SA Luting, Zirconite)가 사용되었다. 각 재료 당 세가지 서로 다른 중합 방법(자가 중합, 즉시 광중합, 5분 지연 광중합)으로 중합하였으며, 각 방법 당 5개의 시편을 사용하였다. Bonded disk method를 사용하여 37℃에서 30분간, 시간에 따른 중합 수축률을 측정하였다. 측정값은 일원분산분석과 다중 분석을 위한 Scheffé test를 사용하였고, 유의수준은 0.05으로 하였다.

결과: Panavia F 2.0를 제외한 나머지 세 종류의 이원 중합 레진 시멘트들은 지연 광중합 반응에서 가장 높은 중합 수축률을 보였다. Panavia F 2.0의 중합 수축률은 중합 방법간에 통계학적 유의성이 없었다. 중합이 개시된 초기 10분 내에 즉시 혹은 지연 광중합에서 모든 시멘트는 90% 이상의 중합 수축을 보였다.

결론: 이원 중합 레진 시멘트의 지연 광중합이 중합 효율을 높인다. (대한치과보철학회지 2014;52:195-201)

주요단어: 이원 중합 레진 시멘트; 중합 수축률; 광중합

*교신저자: 김성훈

110-768 서울시 종로구 연건동 275-1 서울대학교 치의학대학원 치과보철학교실

02-2072-2664: e-mail, ksh1250@snu.ac.kr

원고접수일: 2014년 5월 16일 / 원고최종수정일: 2014년 7월 7일 / 원고채택일: 2014년 7월 14일

© 2014 대한치과보철학회

이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아 저작자표시-비영리 3.0 대한민국 라이선스에 따라
이용하실 수 있습니다.