복합레진 색상에 따른 Halogen light의 투과도

강릉원주대학교 치과대학
치과보존학교실
조경모

본 연구에서는 할로겐 광원의 빛이 복합레진의 색상과 두께에 따라 어느 정도 투과가 되는지를 비교하고자 Z-250 복합레진 (3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)의 A1, A2, A3 색상에서 2, 3, 4 mm 로 두께를 달리한 뒤 밑면에서 복합레진 본체와 차단된 복합레진 시편의 중합도를 FTIR spectroscopy로 측정하였다. 그 결과 색상이 어두워질수록 할로겐 광원의 투과능력은 감소하였으며 두께가 두꺼워질수록 할로겐 광원의 투과능력이 감소하였다.
위의 결과를 바탕으로 할로겐 광원을 이용하는 중합도를 향상시키기 위해서는 복합레진의 색상을 밝은 것으로 이용하며 가급적 얇은 두께로 복합레진을 충전하여야 할 것으로 사료된다.

주요단어 : 할로겐광, 중합도, 색상, 복합레진, FTIR spectroscopy

서 론

치의학 영역에서 수복용 충전재로 사용되는 복합레진은 Bowen[1]에 의해 처음 도입 되었으며, 이후 환자의 심미적 요구도의 증가와 사용의 용이성, 물성의 향상 등으로 현재 사용이 점점 증가되고 있는 추세이다. 작은 병소의 수복에 국한되어 사용해야 한다는 한계를 벗어나 광범위한 손상부에도 사용이 가능할 정도로 물성이 개선되었지만 이러한 결과는 복합레진의 적절한 중합이 이루어진 경우에만 가능하다.

적절히 중합되지 않은 복합레진은 기계적 성질이 감소되고, 치수에 손상을 줄 수 있으며, 충분히 중합된 면이 부적절하게 중합된 면 위에서 하중을 받으면 수복재의 구부러짐이 유발되어 변연파절, 해부학적 형태의 손실, 변연 누출 등을 일으키게 되고, 이차적으로 치아우식, 열 민감증, 색조의 불안정성등과 같은 여러 부작용들을 야기 할 수 있다[2-5].

일반적인 가시광선 중합형 복합레진은 광조사기에서 발생된 468±20 ㎚의 빛에 의해 중합개시제인 camphoroquinone이나 다른 diketone이 triplet 상태로 활성화 되어 지방족 3차 아민과 상호작용함으로써 자유 라디칼을 생성한다. 이 자유라디칼이 단량체의 이중결합(C=C)에 충돌하면 이중결합의

접수일 : 2010. 11. 10
수정일 : 2010. 11. 2
채택일 : 2010. 12. 25
교신저자 : 조경모
강원도 강릉시 강릉대학로 120
강릉원주대학교 치과대학 치과보존학교실
Tel : +82-33-640-3155
Fax : +82-33-640-3103
E-mail : drbozon@gwnu.ac.kr
*이 논문은 2002년도 강릉대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 수행되었음.

전자들 중 하나와 짝을 이루고 다른 요소는 자유로운 부대전자가 되어 대부분의 자유 단량체들이 중합될 때까지 계속적인 반응을 유도한다[6].

복잡한 중합반응의 특성 때문에 복합레진의 중합도는 광조사기의 노출 시간 및 강도[7], 복합레진의 온도[8], 색상, 두께, 광원과 레진 사이의 거리, filler의 종류[9,10], 중합개시제의 종류[11]등에 의해 영향을 받게 된다.

본 연구에서는 여러 가지 색상과 두께의 복합레진 밑면에서 복합레진 본체와 차단된 복합레진 시편의 중합도를 FTIR spectroscopy로 측정하여 할로겐 광원의 빛이 복합레진의 색상과 두께에 따라 어느 정도 투과가 되는지를 비교하고자 하였다.

연구 재료 및 방법

1. 연구재료 및 장비

광중합형 복합레진으로 Z-250 (3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)의 A1, A2, A3 색상을 사용하였고, 다양한 두께의 복합레진 중합 상황을 모사하기 위하여 직경 7 mm hole을 가진 2, 3, 4 mm 두께의 두랄루민 주형을 제작하였다. 광중합기는 직경 11 mm의 fiber optic light guide를 가지는 할로겐 광원의 XL-3000 (3M ESPE, St. Paul, U.S.A.)을 사용하였고, 빛의 강도는 Demetron 광도측정계(Curing radiometer Model 100, Demetron Research Corp., West collins, U.S.A.)를 이용하여 측정하였다. 복합레진의 중합도는 FTIR (EQUINOX-55, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany)을 이용하여 평가하였다.

2. 시편제작

복합레진의 본체와 연결 된 하부의 복합레진

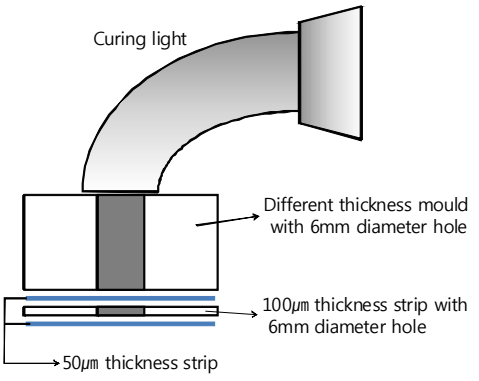

Fig. 1. Schematic drawing of sample fabrication.

의 중합도를 측정하는 것은 복합레진의 중합이 연속적인 chain reaction이 일어남에 의해 광중합기 빛의 투과도를 직접적으로 측정하는데 방해가 될 수 있으므로 복합레진 본체와 FTIR analysis에 필요한 복합레진을 분리하여 제작하였다. FTIR analysis를 위한 복합레진 시편은 두 개의 두께 50 ㎛의 strip 사이에 직경 6 mm의 구멍을 형성한 100 ㎛ 두께의 strip을 넣어 제작하였다. 5.5 g 으로 동일한 양의 복합레진을 100 ㎛ 두께의 strip에 채우고 두 개의 두께 50 ㎛의 strip 사이에 넣은 뒤 500 kg의 하중을 5초간 가하여 FTIR analysis를 위한 부분을 만들었다. 그런 뒤 시편 위에 2, 3, 4 mm의 주형을 위치시키고 주형 중앙에 있는 hole에 복합레진을 충전한 후 광중합기의 끝이 레진을 모두 덮도록 위치시켜 광중합을 시행하였다(Fig. 1). 광조사 시간은 모두 20초로 동일하게 조사하였고, 광중합기의 광원의 강도는 Demetron 광도측정계를 이용해 측정한 결과 840 mW/cm^{2}였다.

3. 복합레진의 중합도측정

광중합 직후 시편을 주형에서 분리하고, 시편

Table 1. Means and standard deviation(SD) of degree of conversion. (%)

Group Thickness	A1 Mean (SD)	A2 Mean (SD)	A3 Mean (SD)
2mm	52.99 (10.63)	41.16 (5.37)	35.25 (5.31)
3mm	42.61 (3.12)	28.99 (3.85)	18.50 (8.10)
4mm	42.12 (4.68)	23.02 (5.34)	10.63 (5.22)

의 상·하 면에 있는 50 ㎛ 두께의 strip을 제거하였다. 복합레진 시편을 Spectrophotometer내에 있는 film holder에 위치시키고 EQUINOX-55를 사용하여 1638.6 cm^{-1}에서의 C=C absorbance peak의 농도와 1609.4 cm^{-1}에서의 C....C reference peak의 농도를 측정하고 일련의 연구들과 같이 다음과 같은 식으로 중합도를 평가하였다[2,12].

(%C=C)=[Abs(C=C)/Abs(C···.C)]polymer/[Abs (C=C)/Abs(C···.C)]monomer * 100

[Abs(C=C)/Abs(C···.C)]monomer의 값은 중합하지 않은 각 색상의 복합레진의 1609.4 cm^{-1}에서의 C···.C reference peak의 평균값을 사용하였다. 각 색상과 복합레진의 두께별로 측정된 %C=C 값의 평균값을 중합도로 정하였다.

4. 통계

각 군에서 측정된 중합도 값은 SPSS ver 10.0 (SPSS Inc, Chicago, U.S.A.)을 이용하여 One-way ANOVA를 사용해 비교하였고 Sheffe test로 95%의 유의수준에서 사후검정 하였다.

결 과

복합레진의 두께와 색상에 따른 중합도의 평균과 표준편차는 아래 표 1과 같으며 A1 색상의 2 mm에서 가장 높은 중합도를 보였으며, A3 색상의 4 mm에서 가장 낮은 중합도를 보였다.

각 두께에서 색상사이의 중합도를 비교하여 볼 때 2 mm 두께에서는 A1의 중합도가 가장 크고 나머지 색상간의 차이를 보이지 않았으며, 3 mm와 4 mm 두께에서는 역시 A1의 중합도가 다른 색상에 비해 크게 나타났으며 색상이 어두워질수록 더 낮은 중합도를 보였다.

모든 색상에서 두께가 증가 할수록 중합도는 모두 감소하였으며 A3에서는 나머지 색상에 비해 두께에 따른 중합도의 감소폭이 큰 것으로 나타났다.

IV. 총괄 및 고안

대부분의 복합레진에서 쓰이는 광중합개시제는 400- 515 nm 파장사이에 있는 빛에 의해서 활성화 되며, 가장 효과적인 파장은 470 nm로 보고되고 있다.[13] 효과적인 중합을 위해서 반드시 400-515 nm 사이의 범위를 가진 광원이 필요하며 최소한의 강도는 300 mW/cm^2 가 필요하다.[14] 이러한 광조사기의 빛을 공급하는 능력은 복합레진의 중합도에 많은 영향을 미친다.

중합깊이와 레진의 색상과의 관계에 대하여 많은 연구가 있어 왔다. Swartz 등[15]은 어두운 색상을 가진 복합레진이 밝은 색상을 가진 복합레진보다 중합깊이가 낮았으며 법랑질을 통해서 중합을 시행하였을 때도 같은 결과를 보였다

Table 2. Comparison of degree of conversion between groups.

	2mm			3mm			4mm		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
A1									
A2	*			*			*		
A3	*			*	*		*	*	

* : Statistically significant (P<0.05)

고 한다. Onose 등[16]은 yellow, grey, brown의 세 가지 색상을 검사한 결과 다른 universal shade보다 낮은 hardness value를 보였다고 하며, Takamizu 등[17]은 어두운 색상은 보다 강한 광조사기의 강도를 요하며 보다 긴 조사시간을 필요로 하고, dark grey와 grey-brown이 dark yellow 보다 더 깊은 중합 깊이를 보였으며 이는 yellow pigment가 보다 blue light를 많이 흡수하여 중합 깊이를 낮게 만드는 원인으로 보았다.

그러나 Ferracane 등[18]의 연구에서는 복합레진의 색상 그 자체 보다는 translucency와 같은 다른 요소들에 의해서 레진의 중합도가 더 많은 영향을 받으며, 또 다른 연구에서는 복합레진의 filler에 따른 중합도를 비교하여 microfilled 복합레진은 보다 낮은 transmission coefficient를 가지고 있어서 다른 hybrid, small-particle-filled resin composite보다 낮은 중합깊이를 보였다고 한다[19,20].

Frederick 등[21]에 의하면 복합레진의 색상보다는 광조사기의 강도나 조사 시간이 레진의 중합도에 더 큰 영향을 미친다고 한다.

본 연구에서는 복합레진의 두께와 색상이 변하면서 할로겐 광의 중합능력이 어떻게 변하는가를 실험하여 복합레진의 두께가 증가할수록 중합도가 감소되는 결과를 얻어 다른 연구들과 유사한 결과를 나타내었다. 두께 증가에 대한 중합도의 상관관계에서는 A3 색상에서 가장 큰 감소폭을 보였다. 이러한 결과는 A3 색상과 같은 어두운 색상에서는 다른 동일 계열의 밝은 색상과 비교하여 볼 때 보다 두께 증가 시 보다 광조사 시간을 증가 시켜야만 중합도를 높일 수 있다는 결론을 가능하게 한다.

모든 두께에서 A1 색상이 가장 높은 중합도를 보였으나 2 mm 두께에서는 나머지 색상사이에는 유의성을 찾을 수가 없었다. 이러한 결과는 빛이 잘 투과할 수 있는 상황에서 색상과 중합도는 큰 상관관계가 없다고 볼 수 있으며 결국 두께 2 mm 이하의 상황에서는 색상과 상관없이 할로겐 광원이 충분히 투과할 수 있음을 보여준다. 그러나 Hammel 등[23]의 연구에서는 같은 designed vita shade를 가진 다른 hybrid 복합레진을 검사한 결과 다른 color value를 가졌다고 하였으므로 다양한 복합레진 상품에서도 이러한 할로겐 광원의 능력이 동일한게 발휘되는 가에 대한 추가 연구는 필요할 것으로 생각한다.

복합레진의 중합도를 평가할 때 가장 신뢰성이 있으며 널리 사용되는 방법으로 Fourier transform infrared(FTIR) spectroscopy analysis가 있다. 이것은 복합레진의 중합 전, 후의 C=C stretching vibration을 직접 인지하여 측정하는 방법으로 공유결합의 각각의 신장진동은 spectrum의 특정 진동수에서만 적외선을 흡수한다. FTIR spectroscopy에서 흡수띠의 전이는 분자내의 진

동 변화와 연관되며, functional group의 동정은 적외선 spectrum내의 흡수띠로 나타나는 특정 진동수를 확인함으로써 알아낼 수 있다. 대부분의 복합레진에 사용되는 단량체는 적외선 영역에서 흡수띠를 나타내며, 이러한 성질이 잔류 단량체의 측정에 이용된다. 그러나 FTIR spectroscopy는 bulk한 복합레진의 중합도를 평가하는 것은 부적절하며 부가적인 과정이 필요하다는 단점이 있다[2,10]. 다른 방법으로 unreacted monomer의 elution을 측정하는 방법으로 비교적 간단한 방법이 있으나 이는 polymer network에 결합되어 있는 unreacted pendent methacrylate group과 같은 unreacted C=C의 정확한 측정이 어려워 부정확 할 수 있다.[22]

복합레진의 중합도를 측정하는 또다른 방법으로는 McCabe 등이 보고한 Differential thermal analysis (DTA)[20]와 Differential scanning calorimetry (DCS)[17], Microhardness를 이용한 방법 등이 있다. McCabe 등[24]에 의하면 복합레진의 최대 중합반응은 곧 최대 발열율로 나타나므로, 중합열 및 시간 경과에 따른 발열율은 복합레진의 중합율 및 중합 반응 속도와 관련이 있고, 이러한 복합레진의 중합에 따른 열역학적 특성은 시간의 함수로 표현되어 열분석 방법으로 측정할 수 있어 중합과정을 실시간으로 그리고 연속적으로 분석할 수 있다는 장점을 가진다.

본 연구에서는 일반적으로 중합된 복합레진 시편 하방에서 복합레진의 일부를 긁어내어 중합도를 평가하는 방법을 이용하지 않고 복합레진 본체와 분리한 시편을 이용하였다. 이러한 방법은 중합이 본체로부터 측정시편까지 전이되지 않도록 하여 할로겐 광원의 투과능력만을 평가하기 위함이었다.

다른 이전의 다른 연구들과 비슷한 결과를 보임으로써 이러한 연구 방법이 향후 적절히 사용될 수 있을 것으로 사료되며 추후 다른 여러 가지 광원의 복합레진 중합능력 평가에도 활용이 가능할 것으로 생각한다.

결 론

여러 가지 두께와 색상의 복합레진 밑면에서의 중합도를 FTIR로 측정하여 복합레진 두께와 색상에 따른 halogen light의 투과도를 비교 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 색상이 어두워질수록 할로겐 광원의 투과능력은 감소하였다.
2. 두께가 두꺼워질수록 할로겐 광원의 투과능력은 감소하였다.

위의 결과를 바탕으로 할로겐 광원을 이용하는 중합도를 향상시키기 위해서는 복합레진의 색상을 밝은 것으로 이용하며 가급적 얇은 두께로 복합레진을 충전하여야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Bowen RL. Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues. II. Bonding to dentin promoted by a surface-active comonomer. J Dent Res , 1965;44(5): 895-902.
2. Imazato S, Tarumi H, Kobayashi K et al. Relationship between the degree of conversion and internal discoloration of light-activated composite. Dent Mater J 1995;14(1): 23-30.
3. Rees JS, Jacobsen PH. The polymerization shrinkage of composite resins. Dent Mater 1989;5(1):41-44.
4. Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. Dent Mater 1992;8(5): 299-304.
5. Gee AJ, Harkel-Hagenaar E, Davidson CL. Color dye for identification of incompletely cured composite resins. J Prosthet Dent 1984;52(5): 626-631.
6. Shintani H, Inoue T, Yamaki M. Analysis of camphor-

quinone in visible light-cured composite resins. Dent Mater 1985;1(4): 124-126.
7. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. et al. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. Am J Dent 1993;6(2): 91-95.
8. McCabe JF : Cure performance of light-activated composites by differential thermal analysis (DTA). Dent Mater 1985;1(6): 231-234.
9. Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. The effect of filler and silane content on conversion of resin-based composite. Dent Mater 2003;19(4): 327-333.
10. Eliades GC, Vougiouklakis GJ, Caputo AA. Degree of double bond conversion in light-cured composites. Dent Mater 1987;3(1): 19-25.
11. Yoshida K, Greener EH. Effect of photoinitiator on degree of conversion of unfilled light-cured resin. J Dent 1994;22(5): 296-299.
12. Ferracane JL, Greener EH. Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resins--methods comparison. J Dent Res 1984;63(8): 1093-1095.
13. Cook WD. Curing efficiency and ocular hazards of dental photopolymerization sources. Biomaterials 1986;7(6): 449-454.
14. Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K et al. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. J Am Dent Assoc 2002;133(4): 429-434.
15. Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B. Visible light-activated resins depth of cure. J Am Dent Assoc 1983;106(5): 634-637.
16. Onose H, Sano H, Kanto H et al. Selected curing characteristics of light-activated composite resins. Dent Mater 1985;1(2): 48-54
17. Takamizu M, Moore BK, Setcos JC et al. Efficacy of visible-light generators with changes in voltage. Oper Dent 1988;13(4): 173-180.
18. Ferracane JL, Aday P, Matsumoto H et al. Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. Dent Mater 1986;2(2): 80-84.
19. DeWald JP, Ferracane JL. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. J Dent Res 1987;66(3): 727-730.
20. Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites. J Dent Res 1994;73(2): 516-521.
21. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. et al. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. Am J Dent 1993;6(2): 91-95.
22. Ferracane JL. Elution of leachable components from composites. J Oral Rehabil 1994;21(4): 441-452.
23. Swift EJ Jr, Hammel SA, Lund PS. Colorimetric evaluation of vita shade resin composites. Int J Prosthodont 1994;7(4): 356-61.
24. Imazato S, McCabe JF, Tarumi H et al. Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. Dent Mater 2001; 17(2):178-183.

Transmitting Ability of Halogen Light in Different Composite Resin Colors

Kyung-Mo Cho

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University

The purpose of this study was to compare the light transmitting ability of halogen light in different colors and thicknesses. A1, A2, A3 colors of Z-250 composite resin(3M ESPE, St. Paul, U.S.A.) were used. Degree of conversion of separated resin specimens under the 2, 3, 4mm thickness resin were measured by FTIR spectroscopy.

The result shows that decrease of degree of conversion by increase of resin thickness and decrease of degree of conversion by decrease of lightness of color.

Within the limitation of results, it is recommended to use more light color of composite resin in small thickness to improve degree of conversion when use halogen light.

Key words : color, composite resin, degree of conversion, FTIR spectroscopy, halogen light

Correspondence to : Kyung-Mo Cho
Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Kangnung-Wonju National University
120 Gangneung Daehangno, Gangneung, Gangwon-do, Korea
Tel : +82-33-640-3155, Fax : +82-33-640-3103, E-mail : drbozon@gwnu.ac.kr