다양한 파장폭의 가시광선에 의해 중합된 복합레진의 미세경도와 변연누출도

박수만 · 이재용 · 한승렬 · 하상윤 · 신동훈
단국대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

MICROHARDNESS AND MICROLEAKAGE OF COMPOSITE RESIN CURED BY VISIBLE LIGHT WITH VARIOUS BAND OF WAVELENGTH

Soo-Man Park, Jae-Yong Lee, Seung-Ryul Han, Sang-Yoon Ha, Dong-Hoon Shin
Dept. of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Dankook University

Several ways of curing are being tried to improve material's properties and reduce marginal gap. However, all are considering about the pattern of light intensity. It was noted from the preliminary study the change of light wavelength from filter changing may give an impact on material's property and microleakage.

The object of this study was to verify the effect of filters with various wavelength width on the microhardness and microleakage of composite resin; hybrid type of DenFil and submicron hybrid type of Esthet X. Composite resins were cured using 3 kinds of filter; narrow-banded(465-475 nm), mid-banded(430-470 nm), wide-banded(400-500 nm). After the estimation of microhardness, degree of dye penetration and the maximum gap from SEM evaluation were done between 4 groups that showed no difference in microhardness value of the lower surface.

The results were as follows:

1. Adequate microhardness could not be gained with a narrow-banded filter irrespective of curing time. At the upper surface, DenFil should be polymerized with middle or wide-banded filter for 20 seconds at least, while Esthet X be cured with middle or wide-banded filter for 30 seconds at least to get similar hardness value to control group.
2. There was little dye penetration in enamel margin, but all dentin margins showed much more dye penetration irrespective of curing conditions. Although there was no statistical difference, groups cured with mid-banded filter for 40 seconds and with wide-width filter for 20 seconds showed relatively less dye penetration.
3. It was revealed from the SEM examination that group cured with wide-banded filter had the smallest gap without statistical significance. Spearman's rho test showed that the correlation between the results of dye penetration and SEM examination was very low.

From these results, it could be concluded that curing with wide-width filter would be better than the other techniques, even though the curing technique using mid-width filter seems to have its own unique advantage.

Key words : Microhardness, Microleakage, Wavelength width, Filter, Curing

※ "본 연구는 보건복지부 보건의료기술연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (HMP-00-B-20507-00183)"

Ⅰ. 서 론

1960년대 개발된 복합레진은 전치부 수복재를 거쳐 구치부까지 그 사용범위를 넓혀 오고 있을 뿐만 아니라 기존의 작은 병소 수복에 국한되어 사용해야 한다는 한계를 벗어나 현재는 광범위한 손상부에도 사용 가능할 정도로 물성이 개선되었다. 하지만 이러한 결과는 복합레진 재료의 적절한 중합이 이루어져야 한다는 점을 전제로 하고 있다. 이처럼 복합레진의 적절한 중합을 위해서는 중합 가시광선이 합당한 광도를 지녀야 함은 물론 올바른 범위의 파장대를 가져야 한다는 것은 이미 잘 알려져 있는 사실이다[1].

복합레진의 광중합은 가시광선이 조사되면 camphoroquinone과 같은 중합 기시제가 흡수하여 활성화되고, 환원제와 작용하여 자유기를 발생시키며[2] 이 자유기에 의해 단량체가 부가 중합되고 레진이 경화되는 과정을 거친다. 또한 단량체는 주축을 이루는 이중결합을 2개 이상 갖고 있으므로 중합하여 얻은 중합체(polymer)는 고밀도로 연결된 3차원 그물구조의 단단하고 강한 레진 기질(matrix)을 형성하게 되는 것이다.

한편 수복물의 내구성은 치질과의 접착력 및 수복물과 치질 사이의 계면 틈새에 의해 좌우되므로 중합수축을 줄이기 위한 많은 노력들이 있어 왔다. 예를 들면 우수한 접착력을 가진 접착 시스템의 개발[3], 적절한 와동 형태(C-factor)를 고려하고 수축량을 전체적으로 줄이기 위한 적층 충전법(Incremental layering)[4], stress absorbing liners의 적용[5], 복합 레진의 중합 방향을 고려한 transilluminating wedge의 사용[6], 상아질을 투과하여 중합하는 방법[7], 조사광의 광도(light intensity)를 변화시키는 방법[8]들을 들 수 있다. 이중 광도 변화법은 기존 중합법처럼 복합레진의 중합이 짧은 시기에 완료되면 수축 응력의 발산이 어려워 틈새가 커질 수밖에 없다는 점에 착안을 하여 이를 해소하고자 다양한 중합법들이 연구되고 있다.

현재 임상에서 사용하고 있는 중합방법으로는 기존의 40초 중합법(standard 40-second curing), 완속 기시 중합법(slow-start/ramping)[9,10], 맥동형 중합법(pulsed curing) 등[11]이 있다. 이러한 다양한 중합법들은 기존 중합법에서는 최대 광도로 연속 40초간 광조사하므로 레진 점도가 급격히 증가함으로 인해 중합속도가 가속화되어 응력을 상쇄할 수 있는 레진의 흐름성(flow)이 저하되므로 잔존 응력이 상존하게 되고 이에 따라 수복물의 물성이 저하되며 계면 틈새가 커진다는 점을 해소하기 위해 시도되고 있다. 또 다른 중합법인 급속 중합법(fast curing)[12]은 치료 시간의 단축 및 오염 방지 측면의 장점을 보이고 있으나 이론상 계면 틈새가 커질 가능성이 높다.

이와 같이 상기한 방법들은 모두 조사되는 가시광선의 강도(intensity)를 변화시켜 사용하고 있다. 그러나 중합 가시광에 있어 또 한 가지 고려 가능한 사항으로 파장폭(band of wavelength)을 들 수 있다. 김 등[13]은 10 nm 파장대의 협폭 필터를 이용하여 레진의 미세 경도를 측정한 결과 중심부가 470 nm, 450 nm, 430 nm의 순서로 높은 경도치를 보고한 바 있다. 이에 본 실험에서는 광도의 변화에 따라 복합레진의 물성 변화가 있듯이 조사 가시광선의 파장폭 크기에 따른 물성 변화도 있을 것으로 사료되어 현재 가장 많이 사용하고 있는 광폭(400-500 nm) 필터를 대조군으로 하여 협폭(465-475 nm), 중폭(430-470 nm) 필터를 이용하여 중합한 다음 미세경도와 변연누출도를 측정한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

Ⅱ. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

전통적인 혼합형 복합레진인 국산 DenFil™(VERICOM Co., Korea)과 미세입자를 함유한 혼합형 레진인 Esthet-X(Dentsply Co., Germany)를 사용하였으며 색상은 공히 A3를 이용하였다.

2. 실험방법

1) 미세 경도(Microhardness)

직경 8 mm, 높이 2 mm의 금속 주형 하방에 편평한 슬라이드글라스를 놓은 후 mylar strip을 위치시켰다. 기포가 생기지 않도록 유의하면서 약간의 잉여량이 생기도록 금속 주형 내부로 레진을 충전한 다음 상방에 mylar strip을 놓고 그 위에 다시 슬라이드글라스를 덮은 후 압력을 가하여 주형 외부로 잉여 레진이 밀려나오도록 하였다. 이후 100 W 할로겐 램프를 이용한 특수 제작된 실험용 광중합기(PSI Co., Korea)의 filter 부분에 미국 Oriel사의 협폭(465-475 nm), 중폭(430-470 nm) 필터와 기존 광중합기(XL 2500, 3M, U.S.A.)에 사용되는 광폭(400-500 nm)의 3종 필터를 사용하여 각기 20, 30, 40초간 중합시켰다. 이후 실온에서 1일간 식염수가 담긴 빛이 투과되지 않는 암용기에 넣어 보관하였다. 시편은 각 군당 10개씩, 총 180개를 제작하였다.

미세경도 측정은 Schimadzu microhardness tester type-M(Schimadzu, Japan)을 이용하여 25 gf의 하중을 시편의 상하면에 15초간 가한 다음 형성된 다이아몬드형 압흔의 길이를 측정하여 경도를 산출하였다. 상하면 각기 3부위씩 무작위로 측정한 다음 평균치를 각 면의 대표 미세경도치로 평가하였다. 시편의 상하면 Vickers 경도는 다음의 수식에 따라 산출하였다.

$Hv = 1854.4P/d^2$

Hv : Vickers hardness (kg/mm^2)

P : Testing load (gf)

d : Length of indent (m)

2) 미세 누출도(Microleakage)

발거된 대구치의 건전한 협면과 설면에 상아법랑 경계를 중심으로 5×3×2 mm의 5급 와동을 형성하고 미세입자형 혼합형 레진인 Esthet-X로 충전, 중합하였다. 미세 입자형 레진으로 충전한 이유는 탄성계수가 적어 응력 발생이 크지 않기 때문이다. 중합 조건은 미세경도 실험 결과 Esthet X의 하면 경도가 유의차를 보이지 않은 4개 군을 대상으로 하였다.

각각의 시편을 실온에서 1일간 식염수에 보관한 다음, Sof-Lex disc (3M, U.S.A.)로 연마하였으며, 각 온도에서의 침적 시간을 30초로 1000회의 온도 변화(5℃ - 55℃)를 주었으며 각 군당 10개씩 총 40개의 시편을 제작하였다.

수복물과 치면 사이의 최대 틈새 평가를 위한 주사전자 현미경(JSM-5200, JEOL, Tokyo, Japan) 관찰을 위해 vinyl polysiloxane 인상재(Aquasil, Dentsply, Germany)로 수복물을 인상채득한 다음, polyurethane die (MODRALIT-3K, DREVE-DENTAMID-GMBH, Germany)를 이용하여 resin replica를 제작하였다. 색소 침투 결과 법랑질에 비해 상아질 변연부에서 높은 누출을 보였으므로 주사전자 현미경 시편을 다듬어 치은 변연부 주변 부위만을 관찰하였다. 진공 상태에서 얇은 금박으로 도포한 다음 1000배의 배율로 수복물과 치질 사이의 최대 틈새를 측정하였다.

이후 색소 침투도를 관찰하기 위해 수복물 주변 1 mm를 제외한 전 치면에 nail varnish를 2회 도포한 후 건조시켰다. 1% methylene blue 용액에 24시간 저장하고 수세한 다음 수직으로 협설면을 절단하여 실물 현미경(SZ-40, Tokyo, Japan)으로 색소 침투도를 관찰하였다. 색소 침투도는 색소침투가 없을 경우 0, 축벽의 1/2까지 침투된 경우는 1, 치면 전체일 경우에는 2, 축벽까지 침투한 경우에는 3으로 판정하였다.

3. 평가 및 통계 분석

통계분석은 SPSS ver. 10.0을 사용하였다. 미세경도와 주사전자 현미경을 이용한 최대 틈새의 통계분석은 One way ANOVA와 95% 신뢰도의 Scheffe test를 이용하였고, 색소 침투도는 비모수 통계법인 Kruskal-Wallis test를 이용하였다.

또한 색소 침투도와 최대 틈새와의 상관관계는 Spearman's rho test를 이용하여 검정하였다.

Ⅲ. 실험 결과

1. 미세경도

두 재료 모두 중합시간과 관계없이 협폭(10 nm 폭) 필터로는 낮은 경도를 얻었으며(Table 1), 상면에서 대조군과 유의차 없는 미세 경도를 얻기 위해서는 DenFil은 중폭 이상의 필터를 20초 이상 사용해야 하며(Table 2), Esthet X는 중폭(430-470 nm) 이상의 필터로 30초 이상 중합시켜야 한다(Table 3).

하면의 경우에는 DenFil의 경우 광폭(400-500 nm)으로

Table 1. Microhardness values of groups (kg/mm^2)

Wavelength	Curing time (sec.)	Upper surface		Lower surface	
		DenFil	Esthet X	DenFil	Esthet X
Narrow	20	78.95 (2.09)	54.77 (2.81)	40.06 (3.39)	26.95 (4.96)
	30	86.87 (1.22)	58.25 (5.01)	58.26 (2.49)	39.24 (4.20)
	40	89.02 (4.36)	66.98 (5.73)	66.65 (4.54)	51.43 (5.38)
Middle	20	100.13 (4.78)	66.08 (5.64)	66.47 (3.53)	44.60 (3.17)
	30	96.73 (7.48)	81.28 (5.44)	84.95 (7.71)	67.91 (5.63)
	40	99.39 (5.68)	73.95 (2.03)	79.28 (4.87)	61.17 (2.70)
Wide	20	95.81 (7.18)	78.28 (3.82)	86.49 (7.14)	64.79 (5.76)
	30	104.40 (4.58)	83.55 (8.42)	95.39 (3.86)	73.88 (7.16)
	40	99.90 (6.83)	83.19 (9.71)	94.60 (4.72)	65.82 (9.48)

Table 2. Statistical difference of the upper surface of DenFil

Wavelength (time)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Narrow (20)	10	78.95			
Narrow (30)	10	86.87	86.87		
Narrow (40)	10		89.02	89.02	
Wide (20)	10		95.81	95.81	95.81
Middle (40)	10			96.73	96.73
Middle (30)	10				99.39
Wide (30)	10				99.90
Middle (20)	10				100.13
Wide (40)	10				104.40
Significance		0.216	0.097	0.251	0.129

Table 3. Statistical difference of the upper surface of Esthet X

Wavelength (time)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Narrow (20)	10	54.77			
Narrow (30)	10	58.25	58.25		
Middle (20)	10		66.08	66.08	
Narrow (40)	10		66.98	66.98	
Middle (30)	10			73.95	73.95
Wide (20)	10				78.28
Middle (40)	10				81.28
Wide (30)	10				83.19
Wide (40)	10				83.55
Significance		0.987	0.219	0.360	0.119

20, 30, 40초간 중합시킨 군이 유의성 있게 높은 수치를 보였으며(Table 4), Esthet X의 경우에는 이외에도 중폭으로 40초간 중합시킨 군이 우수한 결과를 보였다(Table 5).

2. 변연누출도

미세경도 실험에서 하면 경도의 유의차가 없는 4개 군을 대상으로 미세입자 혼합형 복합레진인 Esthet X로 충전, 실험하였다.

중합 조건에 관계없이 법랑질 변연부에서는 극미한 색소 침투도를 보인 반면 치은 변연부에서는 매우 높은 침투도를 보였다(Table 6). 유의성 검정 결과 유의차가 없었지만 중폭 40초와 광폭 20초로 중합한 군에서 상대적으로 낮은 수치를 보였다(Table 7, 8).

Table 4. Statistical difference of the lower surface of DenFil

Wavelength (time)	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Narrow (20)	10	40.06			
Narrow (30)	10		58.26		
Middle (20)	10		66.47		
Narrow (40)	10		66.65		
Middle (30)	10			79.28	
Middle (40)	10			84.95	
Wide (20)	10			86.49	86.49
Wide (30)	10				94.60
Wide (40)	10				95.39
Significance		1.000	0.093	0.247	0.056

Table 5. Statistical difference of the lower surface of Esthet X

Wavelength (time)	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
Narrow (20)	10	26.95					
Narrow (30)	10		39.24				
Middle (20)	10		44.60	44.60			
Narrow (40)	10			51.43	51.43		
Middle (30)	10				61.17	61.17	
Wide (20)	10					64.79	64.79
Wide (30)	10					65.82	65.82
Middle (40)	10					67.91	67.91
Wide (40)	10						73.88
Significance		1.000	0.817	0.529	0.087	0.548	0.144

Table 6. Degree of dye penetration in all groups

Wavelength (time)	Margin	N	Mean (S.D.)
Wide (20)	Occlusal	10	0.20 (0.42)
	Gingival	10	2.00 (1.05)
Wide (30)	Occlusal	10	0.10 (0.32)
	Gingival	10	2.30 (0.67)
Middle (40)	Occlusal	10	0.10 (0.32)
	Gingival	10	1.90 (0.57)
Wide (40)	Occlusal	10	0.10 (0.32)
	Gingival	10	2.60 (0.52)

Table 7. Ranks of dye penetration (Kruskal-Wallis test)

Wavelength (time)	N	Mean Rank
Wide (20)	10	18.90
Wide (30)	10	21.60
Middle (40)	10	15.30
Wide (40)	10	26.20

Table 8. Statistics of K-W test

	dye penetration
Chi-Square	5.523
df	3
Asymp. sig.	.137

Table 9. Maximum gap of all groups (㎛)

Wavelength (time)	Margin	N	Mean (S.D.)
Wide (20)	Gingival	10	13.61 (11.28)
Wide (30)	Gingival	10	17.05 (12.21)
Middle (40)	Gingival	10	22.93 (24.31)
Wide (40)	Gingival	10	18.51 (19.66)

Table 10. Homogeneous subset

Wavelength (time)	N	Subset for alpha = .05
		1
Wide (20)	10	13.61
Wide (30)	10	17.05
Wide (40)	10	18.51
Middle (40)	10	22.93
Sig.		.711

Table 11. Correlation between SEM and dye penetration

		Dye	SEM
Spearman's rho Dye	Correlation Coefficient	1.000	.061
	Sig. (2-tailed)	.	.707
	N	40	40

주사전자 현미경상을 통한 최대 틈새(㎛) 측정 결과는 Table 9와 같다. ANOVA 검정 결과 각 군간 유의차는 없었지만 광폭 필터로 20초간 중합시킨 군이 가장 작은 최대 틈새를 보였다(Table 10).

색소 침투와 최대 틈새 측정치간의 상관 관계는 관련성이 매우 적었다(Table 11).

Ⅳ. 총괄 및 고안

증진된 물성과 더불어 취급의 간편성 등으로 인해 다양한 임상 상황에서 복합레진이 수복재로 사용되고 있으며 이러한 추세는 더욱 강해질 것으로 사료된다. 그러나 충분한 내구성을 지닌 복합레진 수복물을 얻기 위해서는 적절한 중합이 이루어져야 한다. 현행 대부분의 복합레진 중합은 자유기 형성을 통한 부가중합으로 단량체가 다양한 에너지를 받아 중합체로 변화하는 것으로 이 과정에서 필연적으로 수복재의 중합수축이 일어나 수복물 주변의 미세누출, 술후 과민증, 2차 우식 등의 원인이 된다. 이러한 변연 누출도는 수복재의 물성 뿐만 아니라 치질 접착제의 물성에 의해 결정되며 수복재의 경우에는 탄성률, 수축응력, 및 열팽창 계수가 관련이 있으며 접착제의 경우에는 치질과의 접착 강도, 치면에의 피짐성(wetness), 용제(solvent)의 특성, 및 취급의 용이성 등이 관계가 깊다고 알려져 있다[14].

근간의 연구에 따르면 기존의 중합법, 즉 최대의 광도로 40초간 연속적으로 중합시키는 것은 중합초기 수초 내에 다량의 자유기를 만들어내어 레진 경화를 일으킨다. 이러한 다량중합 방식은 반응시 열을 발생시켜 중합속도를 더욱 가

속화시키며 이에 의해 레진 점도가 급격히 증가하는 젤효과(gel effect)를 만들므로 레진 수축응력을 상쇄시키기 위한 레진의 흐름(flow)이 일어날 여지를 없애 버리므로 수복물이 치질과의 접착면에서 떨어져 나오거나 수복물내에 잔존응력으로 남아 종국에는 수복물의 물성을 떨어뜨리는 역할을 하게 한다는 문제를 보이고 있다[15].

이처럼 이상적인 중합도와 최소의 중합 수축량을 함께 얻는다는 것은 단량체의 전환률이 커질수록 수축량이 커진다는 점에서 볼 때 모순되는 것이지만 이상적인 수복재로서 당연히 추구되어야 할 사항들인 것이다. 이에 수복재의 물성을 저하시키지 않는 범위내에서 수축량을 줄여 변연누출도를 극소화시키려는 다양한 중합법들이 소개되고 있다.

먼저 빛의 강도(광도)에 관한 연구들을 들 수 있다. Rueggeberg 등[16]은 2 mm 이상 깊이의 레진에 있어서는 필러의 형태나 색상보다는 빛의 광도와 중합시간에 의해 중합도가 영향을 받는다고 보고한 바 있으며 Davidson과 Feilzer[17]도 수복물의 변연 적합도에 영향을 주는 요소 중에서, 술자가 중합시간과 광도를 조절함으로써 중합수축을 조절할 수 있다고 하였다. 또한 Rueggeberg[18]는 1mm 두께를 중합시키는데 약 233 mW/cm^{2}의 광도가 필요하다고 하였으며 Bayne[19]은 2 mm의 복합 레진을 중합시키는데 최소 280 - 300 mW/cm^{2}가 필요하다고 하였다. 한편 박과신[20]은 본 실험에 사용된 2 mm 두께의 혼합형 복합레진인 DenFil 시편을 50, 100, 200, 300, 400, 600 mW/cm^{2}의 광도로 10, 20, 40초간 중합시켜 미세경도와 미세누출도를 조사한 결과, 100 mW/cm^2 이하의 매우 낮은 광도에서는 중합시간에 관계없이 유의하게 낮은 미세경도를 보였지만 수복재에 따라 200 mW/cm^2 이상의 광도로 40초간 중합하게 되면 600 mW/cm^{2}의 광도로 40초간 중합하는 현행 중합법에 비해 유사한 미세경도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 비록 유의차는 없지만 낮은 미세누출도를 보였다고 보고한 바 있다.

한편 복합레진을 중합하는 동안 광도를 변화시킨 연구도 있어 왔다. 이에는 soft-start 방식과 ramping 방식 및 맥동형 중합(pulsed curing) 방식이 있다. Soft-start 방식은 저광도로 중합을 시작하여 고광도로 마무리하는 2단계 방식을 일컬으며 ramping 방식은 저광도로 시작하여 고광도로 마무리하되 중합시간동안 지속적으로 광도를 증가시키는 방법을 지칭한다. 또한 pulsed curing 방식은 짧은 시간동안 일차 중합을 시킨 다음 일정 시간 방치시키고 다시 최종 중합시킴으로써 수축응력이 제거될 수 있는 시간적 여유를 부여하는 방식을 의미한다. 이러한 방법들에 의해 초기 수축응력을 줄임으로써 변연누출이 적었다는 보고도 있는[8,21-23] 반면, Uno와 Asmussen[24], Unterblink[25]는 저광도로 중합할 경우 수복물의 물리적 성질이 저하될 수 있다고 했으며, Manabe 등[26]은 delayed curing으로 인해 오히려 수복물에 부정적인 영향을 끼친다고 하였다. 또한 Friedl[27]은 저광도로 중합을 개시해도 변연 적합도(marginal adaptation)에는 아무런 영향을 주지 않는다는 상반된 결과를 보고하기도 했다.

이러한 방법들은 광도를 변화시켜 물성을 비교한 연구들이지만 빛의 성질 중 또 한 가지 변화시킬 수 있는 방법은 빛의 파장대를 조절하는 방법일 것이다. 즉 파장대별 중합능 차이를 이용한다는 것이다. Nomoto 등[28]에 의하면 중합개시제인 camphoroquinone의 흡수 스펙트럼의 정점이 470 nm로 이 부위에서 중합도가 높다 하였으며 Blankenau 등[29]은 대부분의 상업화된 광조사기는 475-490 nm의 최대 파장영역을 가진 광폭의 파장대를 사용하고 있음을 보고하였다.

이에 김 등[13]은 3종의 협폭 파장대를 이용하여 실험한 결과, 현재 가장 많이 사용되고 있는 광폭 파장대에 비해 피사된 에너지가 적으므로 중합능은 낮았지만 camphoroquinone의 흡수 스펙트럼의 정점이 470 nm이므로 중심부가 430 nm, 450 nm의 필터를 사용한 것보다 같은 크기의 10 nm 파장대일지라도 정점이 470 nm인 필터가 가장 우수하였다고 한 바 있다.

본 연구에서는 이 같은 연구결과를 바탕으로 하여 중합 효과가 가장 우수한 470 nm를 중심으로 filtering된 가시광선의 파장대의 폭을 협폭(10 nm), 중폭(40 nm), 광폭(100 nm)으로 달리하는 경우, 복합레진의 물성에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위해 2종 복합레진의 미세경도와 미세누출을 실험한 것이다.

미세경도의 경우, 하면에 비해 가시광선이 직접 조사되는 상면이 유의하게($p<0.05$) 높은 경도치를 보여 임상치료시 수복물 표면의 경도만으로 수복물 전체의 중합을 가늠할 수 없다는 기존 연구와 같은 결과를 보였다[18]. 실제로 복합레진의 중합여부를 파악하는데는 하면의 미세경도가 중요한 의미를 갖는다 하겠다. 본 실험에서는 복합레진의 종류에 따라 다른 양상을 보였는데 DenFil에서는 기존 방법인 광폭으로 20, 30, 40초간 중합한 경우가 가장 우수한 결과를 보였으며 중폭(430 - 470 nm)으로 40초간 중합한 실험군이 그 다음으로 좋은 결과를 보였으나 유의차가 있었다($p<0.05$). 그러나 Esthet X의 경우에는 중폭으로 40초간 중합한 실험군이 유의차 없는 미세경도를 보였다. 이러한 복합레진간 차이는 뒤에 설명될 중합도 차이와 관계가 있다 하겠다. 즉 Esthet X 보다는 DenFil의 중합이 잘 되므로 조그만 차이에 의해서도 유의차를 보일 수 있다는 것이다. 또한 미세입자를 다량 함유한 전치용 혼합형 레진인 Esthet X에 비해 전통적인 전구치 겸용 혼합형 레진인 DenFil이 높은 경도치를 보인 것은 사용된 filler의 성분 차이에도 기인된 바가 있으며 이외에도 가시광선이 레진 층을 투과하는 과정에서 미세입자들에 의해 분산되는 경향이 커

중합이 적게 일어난 것이 아닌가 사료된다.

전통적 중합법에 대해 기계적 물성 차이가 없는 중합방법만이 임상적 의의가 있기 때문에 Esthet X의 하면 미세경도가 대조군과 유의차 없는 조건인 광폭 필터로 20, 30, 40초간 중합시킨 군과 중폭 필터를 이용하여 40초간 중합시킨 군들만을 대상으로 실험하였다(Table 5). 변연누출도 측정 결과, 법랑질 변연부는 극미한 누출을 보였지만 치은측 변연부에서는 매우 높은 누출도를 보였다. 이는 복합레진의 법랑질 및 상아질과의 접착 강도 차이에서 기인된 것으로 보인다. 또한 유의차는 없었지만 중폭 40초와 광폭 20초로 중합시킨 군들이 상대적으로 우수한 변연 밀폐 효과를 보였다. 이는 광도를 변화시킨 연구와 비교해 볼 때 전통적인 600 mW/cm^{2}의 광도 보다 낮은 200 mW/cm^2 이상의 광도로 중합시킨 군에서 더 우수한 밀폐 효과를 보였다는 연구 결과[20]와 유사하다고 볼 수 있다.

변연 누출도 검사시 일반적으로 하나의 방법만으로 행하기도 하지만 두 가지 이상의 방법을 통해 실험의 객관성을 입증하고 방법들간의 상호 연관성을 찾으려는 시도들이 이루어지고 있다. Iwami 등[30]은 전기 전도도와 색소 침투도를 병용한 결과, 방법간의 상관성이 높다고 한 바 있고($p<0.05$), Santini 등[31]은 색소 침투도와 주사전자 현미경을 이용한 검경 결과, 색소가 침투된 부위에서는 모두 수복물과 치질간의 이개(debonding) 현상이 있음을 보고한 바 있다. 그러나 본 실험에서는 색소 침투도와 주사전자 현미경을 이용한 최대 틈새와의 상관성이 매우 낮게 나왔는데 이는 최대 틈새 측정만으로는 색소 침투도를 추론할 수 없다는 것을 의미하며 방법간의 상관성을 높이기 위해서는 최대 틈새 보다는 변연부 전반에 걸친 이개 현상 등을 측정하는 방법이 더욱 효과적일 것이라고 사료된다.

복합레진에 대한 가시광선의 파장폭에 따른 중합도와 변연누출도를 살펴본 본 연구 결과로는 기존의 광폭 파장대를 이용한 중합법이 중합도 면에서 가장 우수하였으나 수복재에 따라 중폭 파장대를 이용한 중합법도 유사한 중합도를 보였으며 상대적으로 우수한 변연폐쇄 효과를 보인 것으로 보아 광도 변화를 이용한 기존의 연구 결과들과 유사한 결론을 얻을 수 있었다고 할 수 있다. 그러나 중합기시제로 사용되는 물질들이 다양해지고 이들을 최대로 중합시킬 수 있는 파장대가 매우 다양해질 수 있으므로 가급적 중합에 사용되는 광중합기는 광폭의 파장대를 사용하는 것이 바람직해 보인다. 또한 수복물의 내구성을 결정짓는 중요 요인인 변연누출도를, 보다 더 객관적으로 정확하게 측정할 수 있는 방법이 개발되어야 할 것으로 사료된다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 중합에 사용되는 가시광선의 파장폭이 혼합형 복합레진인 DenFil과 미세입자형 복합레진인 Esthet X의 미세경도와 변연누출도에 어떠한 영향을 미치는 가를 알아보고자 협폭(465-475 nm), 중폭(430-470 nm), 광폭(400-500 nm)의 3종 필터를 이용하여 각기 20, 30, 40초씩 중합하였다. 미세경도 측정 후 하면 경도의 차이를 보이지 않은 4개 군을 대상으로 색소 침투도와 치질/수복재간 최대 틈새를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두 재료 모두 중합시간과 관계없이 협폭(465-475 nm) 필터로는 낮은 경도를 얻었으며 상면에서 대조군과 유의차 없는 미세 경도를 얻기 위해서는 DenFil은 중폭 이상의 필터를 20초 이상 사용해야 하며, Esthet X는 중폭(430-470 nm) 이상의 필터로 30초 이상 중합시켜야 했다.
   한편 하면에서는 DenFil의 경우 광폭(400-500 nm)으로 20, 30, 40초간 중합시킨 군이 유의성 있게 높은 수치를 보였으며, Esthet X의 경우에서는 이외에 중폭으로 40초간 중합시킨 군에서도 우수한 결과를 보였다.
2. 중합 조건에 관계없이 법랑질 변연부에서는 극미한 색소 침투도를 보인 반면, 치은 변연부에서는 매우 높은 침투도를 보였다. 유의성 검정 결과 유의차가 없었지만 중폭 40초와 광폭 20초로 중합한 군에서 상대적으로 낮은 수치를 보였다.
3. 주사전자 현미경상을 통한 최대 틈새(μm) 측정치의 ANOVA 검정 결과 각 군간 유의차는 없었지만 광폭 필터로 20초간 중합시킨 군이 가장 작은 최대 틈새를 보였다. 색소 침투와 최대 틈새 측정치간의 상관 관계는 관련성이 매우 적었다.

이상의 결과만으로 볼 때 현행 사용되고 있는 광폭 필터를 이용한 중합법에 비해 중폭 필터를 이용한 중합법도 나름대로의 장점을 갖는 것으로 보이지만 다양한 복합레진 기질을 중합시키기 위해서는 광폭을 사용하는 것이 옳을 것이며 이에 대해 더 많은 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Pradhan RD, Melikechi N, Eichmiller F: The effect of irradiation wavelength bandwidth and spot size on the scraping depth and temperature rise in composite exposed to an argon laser or a conventional quartz-tungsten-halogen source. Dent Mat 2002 May; 18(3):221-226.
2. Cook WD: Spectral distribution of dental photopolymerizing sources. J Dent Res 1982;61(12):1436-1438.
3. Davidson CL, de Gee AJ, Feilzer A: The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress J Dent Res 1984; 63(12): 1396-1399.
4. Davidson CL, de Gee AJ: Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites J Dent Res 1984;63:146-148.

5. Tarle Z, Meniga A, Ristic M, Sutalo J, Pichler G, Davidson CL: The effect of the polymerization method on the quality of composite resin samples. J Oral Rehabil 1998;25(6):436-442.
6. Lutz F, Kreejei I, Luescher B, Oldenburg TR: Improved proximal margin adaptation of Class II composite restorations by use of light-reflecting wedges. Quintessence Int 1986;17:659-670.
7. Chan KC, Boyer DB: Curing light activated composite resin through dentin. J Pros Dent 1985;54:643-645.
8. Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH: Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without 'soft-start polymerization'. J Dent Res 1997 May-Jul;25(3-4):321-330.
9. Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA, Markl A: Marginal adaption of Class V restorations with and without "soft-start polymerization". Oper Dent 2000 Jan-Feb;25(1):26-32.
10. Goracci G, Mori G, Casa de Martinis L: Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations Quint Int 1996;27:355-362.
11. Suh BI, Cripe CA, Yin R: Light intensity and exposure time effects on light cured composites, J Dent Res 1998 77:Special issue B:Abst. No. #73.
12. Dennison JB, Yaman P, Seir R, Hamilton JC: Effect of variable light intensity on composite shrinkage. J Pros Dent 2000;84(5):499-505.
13. Kim HC, Cho KM, Shin DH: Microhardness of esthetic restorative materials cured by 3 types of narrow-banded wavelength. J Korean Academy of Conservative Dentistry 2001;26(2):127-133.
14. Manhart J, Chen HY, Mehl A, Weber K, Hickel R: Marginal quality and microleakage of adhesive class V restorations. J Dent 2001;29:123-130.
15. Sakaguchi RL, Sasik CT, Bunczak MA and Douglas WH: Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. J Dent 1991 Oct;19(5):312-326.
16. Ruggeberg FA: Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite, Int J Prostho 1993;6:364-370.
17. Davidson CL, Feilzer AJ: Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. J Dent 1997 Nov;25(6):435-440.
18. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr., Davis HC: Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. Am J Dent 1993;6(2):91-95.
19. Bayne SC, Taylor DF: Dental materials. In: Sturdevant CM, Roberson TM, Heymann HO, Sturdevant Jr, eds. The art and sciences of operative dentistry. 1995;3rd ed. St. Louis:Mosby;260.
20. Park SM, Shin DH: Microhardness and microleakage of composite resin according to the change of curing light intensity. J Korean Academy of Conservative Dentistry 2001;26(5):363-371.
21. Ruggeberg FA: Factors affecting light transmission of single use, plastic light-curing tips. Oper Dent 1998 Jul;23(4):145-152.
22. Goracci G, Mori G: Esthetic and functional reproduction of occlusal morphology with composite resins. Compend Contin Educ Dent 1999 Jul;20(7):643-648.
23. Burgess JO, DeGoes M, Walker R, Ripps AH: An evaluation of four light-curing units comparing soft and hard curing. Pract Periodont Aesthet Dent 1999 Jan;11(1):125-132.
24. Uno S, Asmussen E: Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. Scand J of Dent Res 1991;99:440-444.
25. Unterbrink GL, Muessner R: Influence of light intensity on two restorative systems. J Dent 1995 Jun; 23(3):183-189.
26. Manabe A, Debari K, Itoh K, Hisamitsu H, Wakumoto S: Effect of delayed light curing of a resin composite on marginal integrity in cylindrical dentine cavities. J Dent 1993 Dec;21(6):344-349.
27. Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA, M rkl A: Marginal adaptation of class V restorations with and without "softstart-polymerization". Oper Dent 2000;25:26-32.
28. Nomoto R: Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. Dent Mater 1997 Jun;16(1):60-73.
29. Blankenau EK: Wavelength and intensity of systems for visible light-curing composite resins: a comparison study. JADA 1983;106(4):471-474.
30. Iwami Y, Yamamoto H, Ebisu S: A new electrical method for detecting marginal leakage of in vitro resin restorations. J Dent 2000;28:241-247.
31. Santini A, Plasschaert AJM, Mitchell S: Effect of composite resin placement techniques on the microleakage of two self-etching dentin-bonding agents. Am J of Dent 2001;14(3):132-136.