광조사 방식이 복합레진 수복물의 변연누출에 미치는 영향

박은숙 · 김기옥 · 김성교
경북대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

EFFECT OF LIGHT IRRADIATION MODES ON THE MARGINAL LEAKAGE OF COMPOSITE RESIN RESTORATION

Eun-Sook Park, Ki-Ok Kim and Sung-Kyo Kim
Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Kyungpook National University, Taegu, Korea

The aim of this study was to investigate the influence of four different light curing modes on the marginal leakage of Class V composite resin restoration.

Eighty extracted human premolars were used. Wedge-shaped class Ⅴ cavities were prepared on the buccal surface of the tooth with high-speed diamond bur without bevel. The cavities were positioned half of the cavity above and half beyond the cemento-enamel junction. The depth, height, and width of the cavity were 2 mm, 3 mm and 2 mm respectively.

The specimens were divided into 4 groups of 20 teeth each. All the specimen cavities were treated with Prime & Bond® NT dental adhesive system (Dentsply DeTrey GmbH, Germany) according to the manufacturer's instructions and cured for 10 seconds except group IV which were cured for 3 seconds. All the cavities were restored with resin composite Spectrum™ TPH A2 (Dentsply DeTrey GmbH, Germany) in a bulk.

Resin composites were light-cured under 4 different modes. A regular intensity group (600 mW/cm^2, group Ⅰ) was irradiated for 30 s, a low intensity group (300 mW/cm^2, group Ⅱ) for 60 s and a ultra-high intensity group (1930 mW/cm^2, group Ⅳ) for 3 s. A pulse-delay group (group Ⅲ) was irradiated with 400 mW/cm^2 for 2 s followed by 800 mW/cm^2 for 10 s after 5 minutes delay. The Spectrum™ 800 (Dentsply DeTrey GmbH, Germany) light-curing units were used for groups Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ and Apollo 95E (DMD, U.S.A.) was used for group Ⅳ.

The composite resin specimens were finished and polished immediately after light curing except group Ⅲ which were finished and polished during delaying time. Specimens were stored in a physiologic saline solution at 37℃ for 24 hours. After thermocycling (500×, 5-55℃), all teeth were covered with nail varnish up to 0.5 mm from the margins of the restorations, immersed in 37℃, 2% methylene blue solution for 24 hours, and rinsed with tap water for 24 hours.

After embedding in clear resin, the specimens were sectioned with a water-cooled diamond saw (Isomet™, Buehler Co., Lake Bluff, IL, U.S.A.) along the longitudinal axis of the tooth so as to pass the center of the restorations. The cut surfaces were examined under a stereomicroscope (SZ-PT Olympus, Japan) at ×25 magnification, and the images were captured with a CCD camera (GP-KR222, Panasonic, Japan) and stored in a computer with Studio Grabber program. Dye penetration depth at the restoration/dentin and the restoration/enamel interfaces was measured as a rate of the entire depth of the restoration using a software (Scion image, Scion Corp., U.S.A.).

The data were analysed statistically using One-way ANOVA and Tukey's method.

The results were as follows:

1. Pulse-Delay group did not show any significant difference in dye penetration rate from other groups at enamel and dentin margins ($p>0.05$).
2. At dentin margin, ultra-high intensity group showed significantly higher dye penetration rate than both regular intensity group and low intensity group ($p<0.05$).
3. At enamel margin, there were no statistically significant difference among four groups ($p>0.05$).
4. Dentin margin showed significantly higher dye penetration rate than enamel margin in all groups ($p<0.05$).

Key words : Light irradiation, Marginal leakage, Composite resin, Curing mode, Dentin bonding, Dye penetration

Ⅰ. 서 론

최근 환자들의 심미에 대한 요구도가 증가하면서 치아색 수복의 빈도가 증가되고 있다. 그 중 복합레진 수복은 종래의 아말감 수복물에 비해 치질의 삭제가 적고, 약화된 치질을 보강할 수 있으며[1-3], 심미적인 장점을 가지고 있어 그 사용이 증대되고 있다. 화학중합형 복합레진에 비해 많은 임상적인 장점을 가지는 광중합 복합레진의 개발로 작업시간은 최대화하면서 중합시간은 최소화할 수 있게 했다[4]. 따라서 중합전 복합레진을 와동에 도입하고 정확한 외형을 부여할 때까지 조작할 수 있을 뿐 아니라, 재료의 낭비를 줄이고 치료시간의 감소를 얻을 수 있었다[5]. 그러나 Feilzer 등[6]은 광중합형 복합레진이 자가중합형 복합레진에 비해 중합수축응력이 크고 유동성이 낮다고 하였으며, Fusayama[7]는 광중합형 복합레진을 얕은 와동에만 제한하여 사용하거나, 깊은 와동의 경우 상아질에 자가중합형 복합레진층을 위치시키고 광중합형 복합레진을 사용할 것을 추천하였다.

복합레진의 중합과정에서 단량체 분자들이 고분자 중합체로 전환될 때, 분자들의 밀집현상이 일어나고, 이는 복합레진의 수축을 야기하게 된다[8]. 중합수축량은 제품에 따라 차이는 있으나 2.9 내지 7.1 vol% 정도로 보고되고 있으며[9,10], 임상적으로는 수복물과 와동벽 사이의 결합력이 복합레진의 중합수축을 제한한다[11]. 이 제한에 의해 중합수축응력이 발생하게 되는데, 이 수축응력은 7MPa까지 보고된 바 있으며[12,13], 현재까지의 연구로는 이러한 수축력을 완벽히 이겨낼 만한 접착시스템이 없으므로[14], 중합수축 응력이 수복물과 치질사이의 결합력보다 큰 경우 변연간극을 초래하며, 임상적으로는 술후지각과민, 변연의 변색, 이차우식, 그리고, 심지어는 수복물의 탈락을 초래하기도 한다[15].

레진 수복물 변연의 질적인 면에 영향을 줄 수 있는 인자로는 접착시스템의 결합강도, 수복재료의 탄성계수[16], filler의 형태, 크기와 함량[9,17], 흡수팽창[18], 와동의 형태[19], 조사광의 강도[20], 그리고 중합시간[21] 등이 있다. 이런 요소들을 조절함으로써 중합수축응력을 감소시키고자 하는 많은 연구가 행해져 왔는데, 그 중 광조사 방식에 대한 이전의 연구들을 보면, 주로 중합광의 강도를 감소시키는 방법들이었다.

복합레진의 단량체가 고분자화되는 중합과정에서 젤화가 일어나 점성을 가진 소성체에서 견고한 탄성체로 전환되는데[22], 중합반응의 초기에는 레진 내부에서 흐름이 일어나 와동벽에 접착되어 있지 않은 부위의 분자들이 다른 위치로 이동하거나 배열을 바꿀 수 있어 레진과 와벽사이의 결합을 파괴하지 않고도 중합수축응력을 보상할 수 있다. 그러나, 중합반응이 진행되면서 유동성이 감소하고 복합레진의 강성(stiffness)이 증가하여 중합수축응력이 증가하며 이 응력이 레진과 와벽사이의 결합강도보다 클 경우 접착실패에 이르게 된다[23]. 따라서 중합광의 강도를 저하시켜 중합반응을 지연시킴으로써 레진 내부에서 점성흐름이 일어나는 시간을 연장시키는 방법을 통하여 잔류변형율이 적은 복합레진을 만들려는 연구들이 진행되었다. 그러한 방법들로는 저광도로 장시간 중합하는 방법[24-26], 저광도에서 고광도로 서서히 증가시키며 중합하는 방법(ramp mode)[27], 저광도에서 초기중합 후 고광도로 최종 중합하는 방법(softstart polymerization)[14,28], 그리고 저광도로 단시간에 초기 중합한 후 적당시간 지연과정을 거치고 고광도로 최종 중합하는 방법 (펄스-지연 중합법)[29-31] 등이 있다.

이들 방법에 비해, 초고광도로 단시간에 중합하는 플라즈마 아크 중합법[32,33]도 소개되고 있다. 이 중합법은 중합반응에 소요되는 시간을 극소화함으로써 단량체가 고분자 중합체로 전환될 때 분자들이 공간적으로 재구성되는 것을 억제하여 중합수축을 감소시키고, 따라서 중합수축응력도 감소시킨다는 개념을 가지는 것으로, 위의 연구들과는 상반된

원리이다. 초고광도 중합법은 상기한 저광도 중합법들이 대부분 중합시간을 증가시키는데 비해 극히 단시간에 중합이 가능하다는 장점을 들어 임상에서의 사용을 시도하고 있다.

복합레진 수복물에서의 중합수축응력은 수복물과 치아 사이에서 변연 간극을 형성하고, 이에 따른 변연의 미세누출은 복합레진 수복물의 임상적 성패에 중요한 요인이 된다. 따라서 복합레진의 중합수축응력을 감소시키기 위한 연구가 많이 행해져 왔고, 광조사 방식에 대한 연구에서도 많은 발전이 있었으나, 저광도 중합법, 펄스-지연 중합법 및 초고광도 중합법을 직접 비교한 연구는 미비한 상태이고, 특히 변연누출의 측면에서 연구한 보고는 더욱 그러하다.

이에 본 연구에서는 보통 광도 중합법, 저광도 중합법, 펄스-지연 중합법, 그리고 초고광도 중합법 등의 광조사 방식이 광중합 복합레진 수복물의 변연누출에 미치는 영향을, 5급 와동의 광중합 복합레진 수복물의 색소침투 실험을 통해 연구하여 소기의 결과를 얻었으므로 이에 보고하는 바이다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 재료 및 기구

우식이나 수복물이 없는, 치근이 완성된 80개의 발거된 소구치를 사용하였다. 충전용 복합레진으로는 hybrid형의 Spectrum™ TPH (Dentsply DeTrey GmbH, Germany)의 A2 shade를, 상아질 접착제로는 Prime & Bond® NT (Dentsply DeTrey GmbH, Germany)를 사용하였다. 광중합기는 300mW/cm²에서 800mW/cm²까지 50mW 간격으로 광도조절이 가능한 Spectrum™ 800 (Dentsply DeTrey GmbH, Germany)과 1930 mW/cm²의 고광도를 낼 수 있는 플라즈마 아크 방식의 Apollo™ 95E (DMD, U.S.A.)를 사용하였다.

2. 시편제작

고속용 다이아몬드 bur (MANI DIA-BURS TF-S23, Japan)를 이용하여 주수하에 치아의 협측에 bevel이 없는 쐐기모양의 5급 와동을 형성하였다. 와동의 가로 폭경, 세로 폭경 및 깊이는 각각 3mm, 2mm 및 2mm로 하였으며, 와동의 교합측 변연은 법랑-백아 경계의 상방에, 치은측 변연은 하방에 설정하였다.

80개의 치아를 무작위로 Table 1과 같이 20개씩 4개의 군으로 분류하였다. 산부식제(DeTrey® conditioner 36 etching gel)를 와동의 법랑질 변연에서 시작하여 상아질까지 도포하고 15초간 둔 후 15초간 수세하였다. 면구(cotton ball)로 blot dry시킨 후, 충분한 양의 Prime & Bond® NT를 적용하고 20초간 두었다. Air-syringe로 용매를 휘발시킨 후 광중합시켰는데, 이 때 사용한 중합광의 강도는 각 군의 복합레진 중합시 사용할 광도와 동일한 강도, 즉, Ⅰ군은 600mW/cm², Ⅱ군은 300mW/cm², Ⅲ군은 400 mW/cm², 그리고 Ⅳ군은 1930mW/cm²였고 Ⅰ, Ⅱ 및 Ⅲ군은 10초간, 그리고 Ⅳ군은 3초간 광조사하였다.

Bulk filling법을 사용하여 복합레진을 충전한 후, Ⅰ군은 600mW/cm²로 30초간, Ⅱ군은 300mW/cm²로 60초간, Ⅳ군은 1930mW/cm²로 3초간 중합한 후, 복합레진 연마제(Composite finishing kit, Shofu, Japan; Enhance® composite finishing & polishing system, Dentsply Caulk, U.S.A.)를 사용하여 연마를 시행하였다. Ⅲ군의 경우는 400mW/cm²로 2초간 초기중합시킨 수복물을 연마하면서 5분간 방치한 후, 800mW/cm²로 10초간 최종 중합시켰다.

복합레진 충전된 시편을 37℃ 생리식염수에 24시간 동안 보관한 후, 5℃와 55℃의 생리식염수에서 1분 간격으로 500회의 열순환(thermocycling)을 실시하였다.

3. 색소침투시험

수복물의 변연 0.5mm까지 nail varnish를 2회 도포한 후 건조된 시편을 37℃, 2% methylene blue 용액속에 24시간 침적시켰다. 그 후 흐르는 물에 24시간 동안 세척하였다. 시편을 아크릴릭 레진으로 매몰한 후, 주수하에 저속 다이아몬드 절단기(Isomet™, Buehler Co., Lake Bluff, IL, U.S.A.)를 이용하여 치아의 장축에 평행하게 수복물의

Table 1. Light curing modes

Groups	Modes	Intensity and Duration
Ⅰ	Regular intensity	600mW/cm² for 30 seconds
Ⅱ	Low intensity	300mW/cm² for 60 seconds
		400mW/cm² for 2 seconds
Ⅲ	Pulse-delay	→ 5 minutes delay (finishing and polishing)
		→ 800mW/cm² for 10 seconds
Ⅳ	Ultra-high intensity	1930mW/cm² for 3 seconds

중앙에서 종절단하였다.

시편의 절단면을 입체현미경(SZ-PT 40, Olympus, Japan)으로 25배 확대하여 관찰한 후, CCD 카메라(GP-KR222, Panasonic, Japan)로 촬영하여 Studio Grabber program (Studio 200, Pinnacle, Germany)으로 컴퓨터에 저장하였다. 상분석 프로그램(Scion Image, Scion Corp., U.S.A.)을 이용하여, 단면에서의 수복물 변연의 길이와 색소가 침투된 길이를 법랑질 변연과 상아질 변연으로 나누어 각각 3회씩 측정하여 대표값을 구한 다음, 수복물의 변연부 길이에 대한 색소침투 길이의 백분율을 선-색소 침투율(linear dye penetration rate, %)로 하여 아래의 식과 같이 산정하였다.

$$\text{Linear dye penetration rate (\%)} = \frac{\text{Length of dye penetration}}{\text{Length of restoration margin}} \times 100$$

4.실험결과의 통계적 분석

각 군에서 측정된 법랑질과 상아질 변연에서의 선-색소침투율을 일원 변량 분석법 (One-way ANOVA)을 사용하여 비교, 분석하였으며 Tukey's test로 사후 검증하였다.

Ⅲ. 성 적

1. 법랑질 변연에서의 색소침투도

법랑질 변연에서 측정된 색소 침투도는 Table 2 및 Fig. 1과 같이 나타났다. 펄스 지연 중합법을 사용한 Ⅲ군이 가장 높은 색소 침투도를 보였으며, 저광도인 Ⅱ군이 가장 낮은 색소 침투도를 보였으나, 각 군들 사이의 유의차는 없었다($p>0.05$)(Fig. 1).

2. 상아질 변연에서의 색소침투도

상아질 변연에서 측정된 색소 침투도는 Table 3 및 Fig. 2와 같이 나타났다. 초고광도군인 Ⅳ군이 가장 높은 색소침투도를 보였고, 그 다음이 펄스-지연 중합군, 저광도군 그리고 보통광도군의 순서였다. 초고광도군(Ⅳ군)에서는 보통광도군(Ⅰ군)과 저광도군(Ⅱ군)에 비해 통계적으로 유의하게 높은 색소침투도를 보였으며($p<0.05$), 펄스-지연 중합군(Ⅲ군)은 색소침투도에 있어서 다른 군들과 유의한 차이를

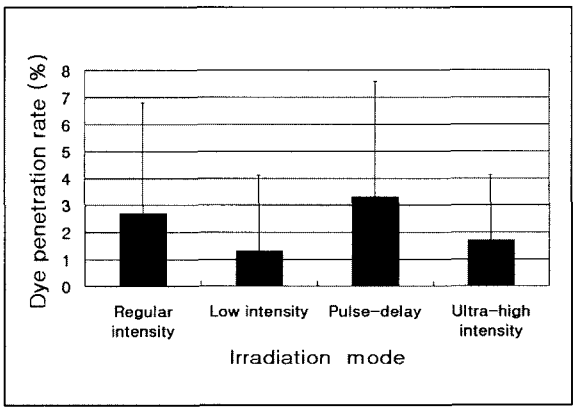

Fig. 1. Linear dye penetration rate at enamel margins.

Table 2. Linear dye penetration rate at enamel margin (%)

Group	Irradiation mode	*n*	Mean	S.D.	Min.	Max.	Tukey grouping*
Ⅰ	Regular intensity	18	2.7	4.1	0	13.2	A
Ⅱ	Low intensity	16	1.3	2.8	0	8.2	A
Ⅲ	Pulse-delay	16	3.3	4.3	0	15.3	A
Ⅳ	Ultra-high intensity	15	1.7	2.4	0	7.1	A

* Same Tukey letter denote statistically similar groups.

Table 3. Linear dye penetration rate at dentin margin (%)

Group	Irradiation mode	*n*	Mean	S.D.	Min.	Max.	Tukey grouping*
Ⅰ	Regular intensity	18	34.5	32.4	0	100	B
Ⅱ	Low intensity	17	48.7	40.9	0	100	B
Ⅲ	Pulse-delay	18	57.3	36.4	0	100	A B
Ⅳ	Ultra-high intensity	16	82.9	26.4	31.9	100	A

* Different Tukey letters denote statistically different groups.

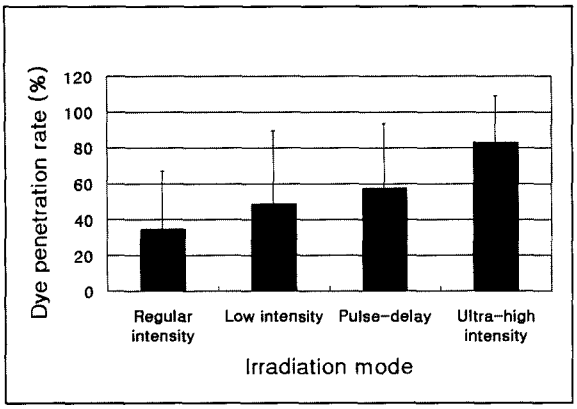

Fig. 2. Linear dye penetration rate at dentin margins.

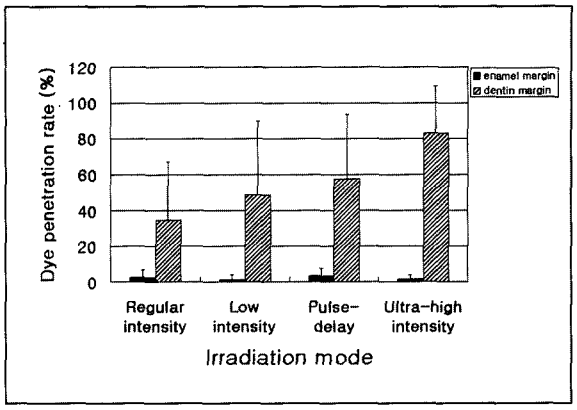

Fig. 3. Linear dye penetration rate at enamel and dentin margins.

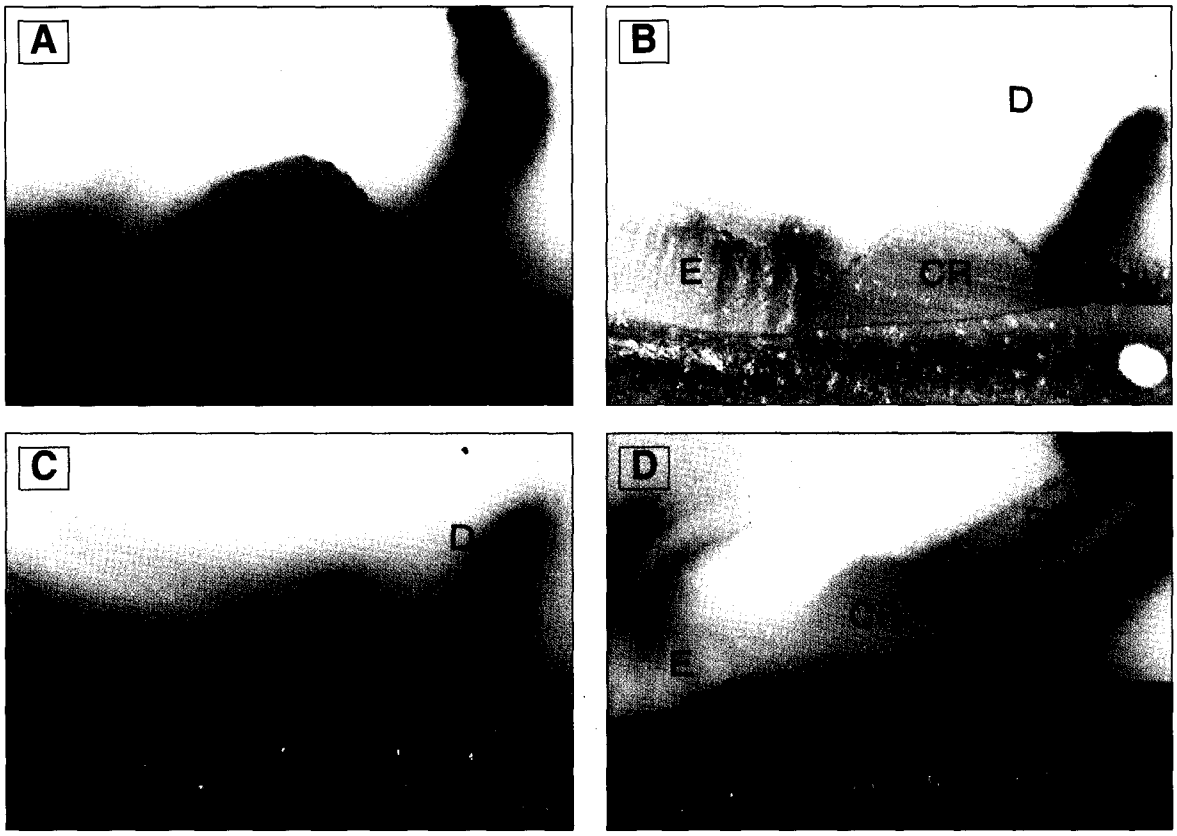

Fig. 4. Stereomicrographs of marginal leakage. (A) Dye penetration rate was 7.2% at enamel margin and 42.5% at dentin margin in this specimen of the regular intensity group. (B) Dye penetration rate was 10.5% at enamel margin and 42.8% at dentin margin in this specimen of the low intensity group. (C) Dye penetration rate was 15.3% at enamel margin and 57.3% at dentin margin in this specimen of the pulse-delay group. (D) Dye penetration rate was 0% at enamel margin and 82.9% at dentin margin in this specimen of the ultra-high intensity group.
(E=enamel, D=dentin, CR=composite resin, ER=embedding resin)

나타내지 않았다($p>0.05$)(Fig. 2).

3. 상아질 변연과 법랑질 변연에서의 색소침투도 비교

법랑질 변연에서는 평균 1.3 내지 3.3%의 색소침투도를 나타낸 반면 상아질 변연에서는 평균 34.5 내지 82.9%의 색소침투도를 나타내었다. 각 군 공히 상아질 변연이 법랑질 변연에서보다 통계적으로 유의하게 높은 색소 침투도를 보였다($p<0.05$)(Fig. 3).

Ⅳ. 고 찰

중합과정에서 일어나는 수축현상은 복합레진 수복물의 주된 문제점 중의 하나로, 이는 접착 수복물에서 변연의 연속성을 파괴하는 응력을 발생시킨다[19,34]. 수복물 변연의 연속성이 파괴되면 수복물 변연에 간극이 발생하게 되는데 Brännström과 Vojinović[35] 및 Brännström[36]의 연구에 따르면 수복물과 와동사이에 간극이 존재할 경우 세균의 독소가 침투하고 세균이 성장할 수 있으며, 이는 복합레진 수복을 한 치아에서 나타나는 치수자극의 주된 원인이라 하였다. 따라서 중합수축응력으로부터의 위해를 방지하기 위해서 중합 수축 응력과 그것을 경감시키는 기전에 대한 연구는 치의학 연구의 중요한 분야가 되었다[37].

복합레진의 중합과정에서 발생되는 중합수축응력에 관해, Feilzer 등[25]은 중합이 이루어지는 동안 복합레진은 점성단계에서 점탄성단계를 거쳐 탄성단계에 이르며, 중합반응의 초기인 점성단계에서는 응력의 발생이 없고, 점탄성단계에서는 재료 내부의 흐름과 탄성변형에 의해 부분적으로 응력이 완화되며, 최종적으로는 주위 치질의 탄성(compliance)에 의해 응력이 완화된다고 하였다. 따라서 응력이 너무 강하다면 결국에는 접착계면의 분리를 야기하게 된다. 중합반응의 지연은 복합레진 내부에서 점성흐름이 일어나 중합수축을 보상하는 시간을 연장시킴으로써, 중합수축응력의 발생을 지연시키고 또 발생될 응력을 감소시킨다. 따라서 중합반응 속도의 조절은 복합레진수복물의 중합수축응력 감소에 중요한 영향을 미친다. 이 속도에 영향을 줄 수 있는 방법 중의 하나가 다양한 광도 수준의 광중합기를 사용하는 것이다[25,28,37].

보통 광도로 조사하는 방법에 관한 연구에서 Olive 등[38]에 의하면, 일반적인 광중합기를 사용하는 경우 순간적으로 최대강도의 중합광을 조사하게 되므로 복합레진 내부에서 다수의 자유 라디칼을 형성하게 되고, 수 초 내에 복합레진을 경화시킨다고 하였다. 이때 반응열이 발생하고 이는 다시 중합속도를 가속시키게 되는데 이를 Trommsdorff 효과(gel 효과)라 하였다. Goracci 등[27]은 그 결과 복합레진의 점성이 급속히 증가하고, 중합수축을 보상하기 위한 재료 내부의 흐름은 억제된다고 하였다. 따라서 중합광의 강도를 감소시키려는 연구가 많이 진행되었는데, 저광도로 장시간 중합하는 방법[24-26], 저광도에서 고광도로 서서히 증가시키며 중합하는 방법(ramp mode)[27], 저광도에서 초기중합 후 고광도로 최종 중합하는 방법(soft-start polymerization)[14,28], 그리고 저광도로 단시간에 초기 중합한 후 적당시간 지연과정을 거치고 고광도로 최종 중합하는 방법 (펄스-지연 중합법)[29-31] 등이 있다.

저광도 중합법에 관한 연구를 보면, Ronald 등[24]은 337 mW/cm^2, 40초 군을 대조군으로 하고, 241, 164 및 116 mW/cm^2 군을 실험군으로 하여 중합도와 선-수축응력을 비교하는 in vitro 실험을 하였는 바, 사용한 광도 범위 내에서는 겔화점 이후 중합수축응력(post-gel polymerization contraction strain)과 광 에너지 밀도사이에는 선형의 관계가 있었으나, 중합도(degree of conversion)와 광 에너지 밀도 사이에는 선형의 관계가 없었으므로 복합레진을 중합시킬 때 저광도를 사용하면 레진수복물의 중합도에는 영향을 주지 않으면서 중합수축응력을 감소시킬 수 있다고 하였다. Feilzer 등[25]은 250mW/cm^2 군과 650 mW/cm^2 군에서 수복물 계면의 연속성과 중합수축량을 비교한 연구에서, 고광도 조사군(650mW/cm^2)의 경우 수복물 계면의 연속성이 저해되었으며, 최종 중합수축량은 광도에 관계없이 동일하였다고 보고하였다. 또한 Saliha 등[26]은 700mW/cm^{2}와 175mW/cm^{2}를 각각 10초와 60초 군으로 나누어 레진수복물의 중합수축, 경도 및 계면의 연속성을 관찰한 연구에서, 광조사 시간이 60초가 되는 한, 중합광의 강도를 감소시켜도 중합도에는 영향을 주지 않으면서 중합속도를 지연시킬 수 있었으며, 중합광의 강도가 강할 경우 수복물과 치아의 분리가 증가되었다고 하였다. 본 연구에서는 저광도 중합법을 사용한 Ⅱ군이 법랑질 변연에서 다른 광도 중합법에 비해 유의성이 없는 정도의 가장 적은 색소침투도를 보였고, 상아질 변연에서는 보통광도를 사용한 Ⅰ군과 더불어 초고광도 중합군에 비해 유의성있게 낮은 색소침투도를 나타내었다. 이는 중합광의 강도가 강하면 수복물과 치아의 분리가 증가되었다고 한 Saliha 등[26]의 보고와 일치한다.

한편 중합광의 강도를 단계별로 변화시키는 방법들을 보면, Goracci 등[27]은 저광도에서 고광도로 서서히 광도를 증가시키는 방법(4분에 걸쳐 30mW/cm^{2}에서 250mW/cm^{2}까지 서서히 증가)을 사용하여 레진 수복물의 적합성을 향상시킬 수 있다고 보고하였으며, Mehl[14] 및 Uno와 Asmussen[28] 등은 저광도로 초기 중합한 후 고광도로 최종 중합하는 2단계 중합법을 사용하여 레진 수복물의 적합성을 향상시킬 수 있다고 보고하였다. Suh[29], Kanca 등[30], 그리고 Kanca와 Suh[31]는 펄스 지연 중합법을 추천하였다.

펄스-지연 중합법에 관해, Suh[29]는 200mW/cm^{2}로 3초

간 초기중합하고 3내지 5분간 방치한 후 500mW/cm²로 20 내지 40초간 최종 중합시키는 방식을 사용하여 최종변형률의 감소를 보고하였고, Kanca 등[30]과 Kanca와 Suh[31]에 의하면 300mW/cm² 내지 350mW/cm²로 2초간 중합하고 5분간 방치한 후, 600mW/cm²로 10초간 중합하는 방식을 통해 적절한 간접인장강도(diametral tensile strength)를 유지하면서 변연누출을 줄일 수 있다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 법랑질 변연 및 상아질 변연에서, 통계적 유의성은 없으나, 펄스-지연 중합법이 보통광도나 저광도 중합법의 경우에 비해 높은 평균 색소침투도를 보였다. 이는 2단계 중합법(150mW/cm²로 10초간 조사한 후 400mW/cm²로 40초 조사), 펄스-지연중합법(100mW/cm²로 3초 조사하고 3내지 5분간 기다리면서 연마한 후 400mW/cm²로 40초간 조사), 저광도 중합법(100mW/cm²로 160초간 조사), 보통광도 중합법(200mW/cm²로 80초간 조사) 그리고 고광도 중합법(400mW/cm²로 40초간 조사)의 미세변연투출과 변연적합도를 관찰한 양 등[43]의 연구에서 펄스-지연 중합법이 저광도나 보통광도 중합법에 비해 적은 미세변연누출을 보이지 않은 것과 유사한 결과이다.

본 연구에서는 펄스-지연 중합법의 개념을 도입한 광조사기인 VIP™ (Bisco, U.S.A.)의 사용법에서 추천한대로, 초기중합 후 5분간 방치하는 동안 연마를 시행하는 방법으로 실험을 진행하였다. Suh[29]는 펄스-지연 중합법에 대한 연구에서 200mW/cm²로 3초간 초기중합시 수복물을 연마하기에 충분한 표면경도를 얻을 수 있으므로 3내지 5분간 방치하는 시간동안 수복물을 연마할 수 있다고 하였고, Kanca와 Suh[31]의 연구에서는, 300mW/cm²로 2초간 초기중합 후 1분이 지나야 연마작업을 할 수 있는 경도를 얻을 수 있다고 하였다. 본 연구에서 펄스-지연 중합법을 사용한 군이 Suh[29], Kanca[30], 그리고 Kanca와 Suh[31]의 보고와는 달리 보통광도 중합군에 비해 낮은 색소 침투도를 나타내지 않은 것에 대해, 저광도로 2초간 초기중합한 복합레진 수복물을 바로 연마하는 경우 안정성에 문제가 되지 않는지 고려가 필요하리라 사료된다. Yap 등[40]에 따르면, 복합레진의 중합과정에서 초기 1분간 중합수축률이 가장 높으며, 중합반응의 초기단계에서는 치질과 복합레진 사이의 결합이 성숙되어 가는 과정에 있으므로 치아와 복합레진 계면의 연속성이 쉽게 손상 받을 수 있다고 하였고, 광중합 직후에는 복합레진의 입체적 안정성이 부족하므로 연마술식을 연기할 것을 추천하였다. 또한 이 등[42]은 초기 저광도 광중합 및 연마 시기의 변화가 변연부의 미세누출에 비치는 영향을 평가한 연구에서, 광중합형 레진에 있어서 초기에 저광도로 광중합시에는 변연부 미세누출을 감소시킬 수 있었으나 초기 저광도 광중합 후 즉시 연마를 시행한 경우에는 변연부 미세누출을 감소시킬 수 없었다고 보고하였고, 중합수축응력이 큰 와동의 경우 초기에 저광도로 광중합하여 레진의 흐름성을 허용하고 레진의 연마는 중합 반응이 보다 안정된 뒤에 시행하는 것이 변연부 미세누출을 감소시킬 수 있다고 하였다. Mehl 등[14]은 너무 낮은 광도(450mW/cm²의 37% 광도로 20초간 중합)로 초기 중합시 중합반응을 적절히 개시할 만큼 충분한 개시제를 활성화시키지 못하였으며, 따라서 거의 중합이 안된 복합레진을 강한 광으로 최종중합시키는 것은 처음부터 강한 광으로 중합시키는 것과 같은 효과를 나타내므로 저광도 중합의 효과를 얻을 수 없다고 하였다. 이 보고에 따르면 본 연구의 펄스-지연 중합군에서 300mW/cm²로 2초간 초기중합시키고 5분 후 800mW/cm²로 10초간 최종중합시킨 것이, 처음부터 800mW/cm²의 강한 광으로 10초만에 중합시킨 것과 같은 결과를 가져왔고 따라서 색소침투도의 감소 효과를 얻지 못했다고 생각할 수도 있다.

방법에서의 차이는 있으나 저광도 중합법과 2단계 중합법, 그리고 펄스-지연 중합법 등은 모두 레진 중합반응의 속도를 지연시킴으로써 중합중인 수복물 내부에서의 점성 흐름이 일어나는 시간 (pre-gel phase)을 연장시켜 중합 수축 응력의 발생을 보상하려는 시도들이다. 그러나 위의 연구자들이 실험에서 사용한 광중합기와 광도는 모두 다르고 광도 측정기(radiometer)도 다르며, 각 연구자들이 정의한 '저광도' 나 '보통광도' 의 절대치도 모두 다르다. Frederick 등[39]은 치과용 광도측정기의 정밀성에 관한 연구에서 이 기계들이 임상적으로 유용하나, 이들이 읽는 절대치는 기계마다 유의한 차이를 보인다고 하였다. 본 연구에서는 Spectrum™ 800에 내장된 광도측정기의 측정치를 기준으로 실험하였다.

한편, Rueggeberg 등[5]은 복합레진 1mm를 중합시키기 위해서는 광도가 최소 233mW/cm²가 되어야 충분한 에너지를 공급할 수 있다고 하였고, Friedl 등[43]은 800mW/cm²로 40초간 중합한 군과 150mW/cm²로 10초간 초기중합후 800mW/cm²로 30초간 최종중합한 군의 변연과 색소침투도를 관찰한 결과 저광도로 초기중합 후 고광도로 최종중합(softstart polymerization)하는 것이 복합레진 수복물의 변연 적합성을 향상시키지는 않았다고 보고하였다. 그리고 CRA 보고[44]에 따르면 할로겐 램프, 레이저, 플라즈마 방식의 중합기, 그리고 펄스 지연 중합 방식을 사용하여 복합레진을 중합시킨 결과, 광중합 방식의 차이는 복합레진의 중합수축과 변연에서의 응력수준에 유의한 영향을 미치지 않았다고 하였다.

최근 소개되고 있는 초고광도 중합법은 아르곤 레이저를 이용한 방법과 플라즈마 아크 램프를 이용한 방법 등이 있는데, 그 중 플라즈마 아크 방식을 이용한 중합기는 1930mW/cm²의 출력을 내는 Apollo 95E (DMD, U.S.A.), 1490mW/cm²의 출력을 내는 ARC light (Air

Techniques, U.S.A.), 1440mW/cm²의 출력을 내는 PAC light (ADT, USA), 2040mW/cm²의 출력을 내는 Virtuoso (Den-Mat, USA), 그리고 1600mW/cm²의 출력을 내는 Wavelight (Schein, USA) 등이 있다. 본 연구에서는 플라즈마 아크 방식의 광중합기로 Apollo™ 95E light curing unit를 사용하였는데, 이 중합기는 1930mW/cm²의 출력으로 1초, 2초 또는 3초간 광조사하는 연속출력방식(continuous energy output mode)과 1280mW/cm²의 출력으로 2초간 조사후, 자동적으로 1900mW/cm²로 출력이 증가하여 6초간 조사되는 계단식 출력방식(stepped energy output mode)이 있다. 제조회사는 플라즈마를 근원으로 한 급속한 중합의 결과로 인해 중합 분자들의 재구성을 억제함으로써 수축의 발생률을 줄여주고, 수복물에서 응력을 감소시킨다고 설명한다. 또한 3초 정도의 단시간내 복합레진을 중합시킬 수 있는 장점을 들어 임상에서의 사용을 추천하고 있다. Venhoven[32,33] 등은 750mW/cm²의 표준 할로겐 램프 중합기와 Apollo™ 95E의 SC (step cure; 2초간 1280mW/cm² 조사 후 1900mW/cm²로 자동변환되어 6초간 조사) mode로 복합레진을 중합시키는 실험을 하여 중합수축과 중합수축응력을 측정한 결과, Apollo™ 95E 의 SC mode가 낮은 계측치를 나타내었으나 통계적인 유의차는 없었다고 보고하였다. 본 연구에서는 Apollo™ 95E의 3초 curing mode를 사용하였는데, 이는 제조회사가 본 실험의 재료로 사용된 Spectrum™ TPH와 Prime & Bond® NT에 대해 추천하고 있는 중합시간이기 때문이었다. 그러나 본 연구결과에서는 상아질 변연에서의 색소 침투도가, 초고광도군인 Ⅳ군에서 보통광도군과 조광도군에서에 비해 유의성있게 높은 것으로 나타났다. Ⅳ군의 경우 대부분의 시편에서 상아질 변연 전체의 색소 침투를 보였으며, 반대로 법랑질 변연에서의 색소 침투는 없는 경우가 많았다. 이는 초고광도군에서 급속한 중합의 결과로 생긴 중합수축응력으로 인해, 상대적으로 법랑질 변연보다 결합강도가 낮은 상아질 변연에서 결합분리(debonding)가 많이 일어나면서 응력이 완화된 결과, 법랑질 변연에서의 결합은 다른 군보다 잘 유지되어 낮은 색소침투도를 나타낸 것으로 생각된다.

본 실험에서 설정한 네가지 광조사 방식에서 조사된 총 에너지는 Ⅰ군과 Ⅱ군의 경우 18000mJ/cm², Ⅲ군은 8800mJ/cm², 그리고 Ⅳ군은 5750mJ/cm²로 서로 달랐다. 각 군의 총 조사 에너지를 동일하게 하지 않은 것은, Spectrum™ 800 광중합기의 출력 광도, 즉 250mW/cm²에서 800mW/cm²를 기준으로 저광도, 보통광도와 고광도를 분류하였고, Ⅲ군은 펄스-지연 중합법을 고안한 Suh[29], Kanca[30], 그리고 Kanca와 Suh[31] 등의 추천대로 광조사시간을 설정했으며, Ⅳ군은 Apollo 95E 광중합기 제조사의 지시대로 광조사시간을 설정하는 등, 총에너지를 통일시키기보다는 임상에서 추천되는 방법을 따랐기 때문이었다. Kanca와 Suh[31]의 연구에서 종래의 광조사 방식으로 24000mJ/cm², 펄스-지연 중합법으로 6600mJ/cm², 저광도 중합법으로 4000mJ/cm²을 사용하였는데, 6600mJ/cm²이나 4000mJ/cm²도 종래의 조사방식에 필적하는 간접인장강도를 얻을 수 있는 충분한 에너지라 하였다.

응력 완화에 있어 중요한 요소 중의 하나가 와동의 디자인이다. 수복물이 와벽에 결합되는 부위가 작을수록 중합수축에 대한 제한이 적다. Feilzer 등[19]은 configuration factor (C value)를 수복물에서 와벽에 결합된 면과 비결합면의 비로 정의했으며, C value가 클수록 수축 응력발생이 급속하고 크다고 보고했다. 본 연구에서는 중합수축응력에 의한 영향을 최대화하기 위해 C value가 임상에서 가장 높은 것 중의 하나인 5급 와동을 사용하였고, 와동의 형태 변화에 의한 군간 차이를 배제하기 위해 각 시편 와동의 가로 및 세로폭경과 깊이를 동일하게 적용하였다.

본 연구에서 모든 군의 법랑질 변연에서보다 상아질 변연에서의 색소침투도가 높게 나타났다. 이는 중합수축응력에 의해, 상대적으로 법랑질보다 결합강도가 낮은 상아질 변연에서 간극이 더 많이 발생한 결과라 생각되며, 법랑질 변연에서의 색소침투도는 모든 군에서 낮은 수치를 나타내었으므로 군 간의 차이를 관찰할 수 없었다. 법랑질 변연에서의 색소침투도의 차이를 보기위해서는 민감도(sensitivity)가 더 높은 실험이 필요하리라 생각된다.

본 연구에서 사용한 치아는 각 군 당 20개였으나 색소 침적 후 시편번호를 알 수 없었던 치아와, 종절단 후 법랑질이 파절된 시편을 제외하였으므로 결과분석한 시편수가 감소하였다.

이상을 종합해 볼 때, 저광도 중합법과 펄스-지연 중합법은 보통광도 중합법에 비해 5급 와동의 광중합형 복합레진 수복물의 미세변연누출을 감소시키지는 않는 것으로 보이며, 1930mW/cm² 초고광도로 3초만에 중합시키는 플라즈마 아크 방식의 광중합은 종래의 광중합 방식에 비해 상아질 변연에서 미세누출을 증가시키는 것으로 보인다. 그러나 이런 결과가 초고광도 중합법에서 급속한 중합으로 인해 응력 완화가 일어나지 못한 때문인지, 단시간의 중합과 그에 따른 총에너지의 감소로 중합도가 저하된 결과인지는 알 수 없으며 이를 확인하기 위해서는 중합된 복합레진의 중합률의 분석 및 응력분석에 관한 연구가 추가로 필요할 것으로 생각되며, 초고광도 중합법의 경우 SC mode나 3초 이상의 시간으로 중합하는 방법 등을 이용한 부가적 연구가 필요하리라 사료된다. 또한 펄스-지연 중합법에서 수복물 연마를 최종중합 후로 연기하는 방법에 대한 연구도 필요하리라 생각된다.

Ⅴ. 요 약

저광도 중합법, 펄스 지연 중합법, 초고광도 중합법 등의 광조사 방식이 광중합형 복합레진 수복물에서의 중합수축 응력에 미치는 영향을 알아보기 위해 in vitro에서 미세 누출 실험을 하였다.

80개의 발거된 소구치의 협측면에 5급 와동을 형성하고, 600mW/cm²로 30초간 광조사하는 보통 광도 중합군, 300mW/cm²로 60초간 광조사하는 저광도 중합군, 400 mW/cm²로 2초간 광조사하고 5분간 기다린 후 800 mW/cm²로 10초간 최종 중합시키는 펄스-지연 중합군, 그리고 1930mW/cm²의 광도로 3초간 광조사하는 초고광도 중합군 등의 4개의 군으로 나누어 hybrid 형의 광중합 복합레진을 충전하고 각 군의 방법대로 중합한 후, 변연의 0.5 mm 외부에 nail varnish를 도포하고 37℃, 2% metylene blue 용액에 24시간 동안 침적시켰다.

시편을 아크릴릭 레진에 매몰한 후 수복물의 중앙에서 종절단하여 입체현미경하에서 그 단면을 관찰한 후 법랑질과 상아질 변연으로 나누어 색소의 침투도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 펄스 지연 중합군의 색소 침투도는 법랑질과 상아질 변연 모두에서 보통광도, 저광도 및 초고광도 중합군과 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).
2. 상아질 변연에서 초고광도 중합군은 보통광도 중합군과 저광도 중합군에 비해 유의하게 높은 색소 침투도를 보였다($p<0.05$).
3. 법랑질 변연에서의 4개 군의 색소 침투도는 서로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).
4. 모든 군에서 상아질 변연에서의 색소 침투도는 법랑질 군에서의 색소 침투도에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$).

참고문헌

1. Eakle, W. S.: Fracture resistance of teeth restored with class II bonded composite resin, J. Dent. Res., 65: 149-153, 1986.
2. Hansen, E. K.: In vivo cusp fracture of endodontically treated premolars restored with MOD amalgam or MOD resin fillings, Dent. Mater., 4: 169-173, 1988.
3. Morin, D., DeLong, R. and Douglas, W. H.: Cusp reinforcement by the acid-etch technique, J. Dent. Res., 63: 1075-1078, 1984.
4. Burke, F. J.: Light-activated composites: the current status, Dent. Update, 12: 182, 184-188, 1985.
5. Rueggeverg, F. A., Caughman, W. F. and Curtis, J. W. Jr.: Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite, Oper. Dent., 19: 26-32, 1994.
6. Feilzer, A. J., De Gee, A. J. and Davidson, C. L.: Setting stresses in composites for two different curing modes, Dent. Mater., 9: 2-5, 1993.
7. Fusayama, T.: Indications for self-cured and light-cured adhesive composite resins, J. Prosthet Dent., 67: 46-51, 1992.
8. Venhoven, B. A., De Gee, A. J. and Davidson, C. L.: Polymerization contraction and conversion of light-curing bisGMA-based methacrylate resins, Biomater., 14: 871-875, 1993.
9. Feilzer, A. J., De Gee, A. J. and Davidson, C. L.: Curing contraction of composites and glass ionomer cements, J. Prosthet. Dent., 59: 297-300, 1988.
10. Jensen, M. E., and Chan D. C. N.: Polymerization shrinkage and microleakage, In: Vanherle G, Smith DC (eds). Posterior composite resin dental restorative materials, ed 1. Utrecht, The Netherlands: szulc, 243, 1985.
11. Kemp-Scholte, C. M.: The marginal integrity of cervical composite resin restorations [thesis]. Amsterdam, 1989.
12. Bowen, R. L., Nemoto, K. and Rapson, J. E.: Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissue: Forces developing in composite materials during hardening, J. Am. Dent. Assoc., 106: 475-477, 1983.
13. Hegdahl, T. and Gjerdet, N. R.: Contraction stresses of composite filling materials, Acta. Odontol. Scand., 35: 191, 1987.
14. Mehl, A., Hickel, R. and Kunzelmann, K. H.: Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without 'softstart-polymerization', J. Dent., 25: 321-330, 1997.
15. Winkler, M. M., Katona, T. R. and Paydar, N. H.: Finite element stress analysis of three filling techniques for Class V light-cured composite restorations, J. Dent. Res., 75: 1477-1483, 1996.
16. Feilzer, A. J., De Gee, A. J. and Davidson, C. L.: Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations, Dent. Mater., 6: 167-171, 1990.
17. Miyazaki, M., Hinoura, K., Onose H. and Moore, B. K.: Effect of filler content of light cured composites on bond strength to bovine dentin, J. Dent., 19: 301-303, 1991.
18. Feilzer, A. J., De Gee, A. J. and Davidson, C. L.: Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion, J. Dent. Res., 69: 36-39, 1990.
19. Feilzer, A. J., De Gee, A. J. and Davidson, C. L.: Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration, J. Dent. Res., 66: 1636-1639, 1987.
20. Reinhardt, K. J.: Effect of the light source on the marginal adaptation of composite fillings, Deutsche Zahn ärzliche Zeitschriff 46: 132-134, 1991.
21. Pilo, R. and Cardash, H. S.: Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites, Dent. Mater., 8: 99-304, 1992.
22. Davidson, C. L. and Feilzer, A. J.: Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives, J. Dent., 25: 435-440, 1997.
23. Koran, P. and Kürschner, R.: Effect of sequential versus continuous irradiation of a light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion, and degree of polymerization, Am. J. Dent., 11: 17-22, 1998.
24. Ronald, L. Sakaguchi and Hong, X. B.: Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites, J.

Dent., 26: 695-700, 1998.
25. Feilzer, A. J., Dooren, L. H., De Gee, A. J. and Davidson, C. L.: Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface, Eur. J. Oral. Sci., 103: 322-326, 1995.
26. Saliha, S., Davidson-Kagan, Carel, L., Davidson C. L., Feilzer, A.J., De Gee, A. J. and Nejdet E.: The effect of curing light variations on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites, Dent. Mater., 13: 344-352, 1997.
27. Goracci, G., Mori, G. and Luca Casa de' Martinis: Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations, Quintess. Int., 27: 355-362, 1996.
28. Uno, S. and Asmussen, E.: Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate, Scan. J. Dent. Res., 99: 440-444, 1991.
29. Suh, B. I.: Reducing the residual strain in composites with the pulse-delay cure technique, A. P. D. N., July-Sep.: 4-7, 2000.
30. Kanca, J., Suh, B. I. and Vinson, W.: Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins, Am. J. Dent., 12: 107-112, 1999.
31. Kanca, J., and Suh, B. I.: Reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosuface margins, Am. J. Dent., 12: 107-112, 1999.
32. Venhoven, B. A. M. and Rezende, J. A.: Contraction of composites using a standard and a high-energy curing light, DMD Systems Europe NV, Belgium (1998).
33. Venhoven, B. A. M., Rezende, J.A. and Feilzer, A. J.: Contraction stress using a standard and a high-energy curing light, DMD Systems Europe NV, Belgium (1998).
34. Davidson, C. L.: Resisting the curing contraction with adhesive composite, J. Prosth. Dent., 55: 446-447, 1986.
35. Brännström, M. and Vojinović, O.: Response of the dental pulp to invasion of bacteria around three filling materials, J. Dent. Child., 43: 15-21, 1976.
36. Brännström, M.: Infection beneath composite resin restoration : Can it be avoided?, Oper. Dent., 12: 150-154, 1987.
37. Unterbrink, G. L. and Muessner, R.: Influence of light intensity on two restorative system, J. Dent., 23: 183-189, 1995.
38. Olive, G. H. and Olive, S.: Polymerisation katalise-kinetik mechamismen, Chemie Weinheim Bergstraβe, 1979.
39. Frederick, A. and Rueggeberg.: Precision of hand-held dental radiometers, Quintess. Int., 24: 391-396, 1993.
40. Yap, A. U. J., Wang, H. B., Siow, K. S. and Gan, L. M.: Polymerization shrinkage of visible-light-cured composites, Oper. Dent., 25: 98-103, 2000.
41. 양철영, 유현미, 권혁춘: 광중합 복합레진 수복시 여러 광조사 방법에 따른 미세변연누출에 관한 연구, 대한치과보존학회지, 25: 299-308, 2000.
42. 이상훈, 정일영, 노병덕: 광중합형 레진에서 초기 저광도 광중합 및 연마시기가 변연부 미세 누출에 미치는 영향, 대한치과보존학회지, 25: 85-90, 2000.
43. Friedl, K. H., Schmalz, G., Hiller, K. A. and Markl, A.: Marginal adaption of class V restorations with and without "softstart-polymerization", Oper. Dent., 25: 26-32, 2000.
44. Resin curing light test results which curing lights and resin cause the least detrimental effects?, CRA Newsletter, vol. 22. Issue 12, 1998.